Universidade Federal do Rio de Janeiro
Centro de Ciências da Saúde
Instituto de Nutrição Josué de Castro
Programa de Pós-Graduação em Nutrição

MICROENCAPSULAMENTO DO SUCO DE CAJU (*ANACARDIUM OCCIDENTALE*, L.) POR SPRAY DRYING, ANÁLISE DOS COMPOSTOS ANTIOXIDANTES E ESTABILIDADE.

Paola Daianne da Silva Maia

Rio de Janeiro

2014

MICROENCAPSULAMENTO DO SUCO DE CAJU (*ANACARDIUM OCCIDENTALE,* L.) POR SPRAY DRYING, ANÁLISE DOS COMPOSTOS ANTIOXIDANTES E ESTABILIDADE.

Paola Daianne da Silva Maia

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Nutrição, Instituto de Nutrição Josué de Castro, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Nutrição Humana.

Orientadora: Anna Paola Rocha Trindade Pierucci
Co-orientadora: Vera Lúcia Valente Mesquita

Rio de Janeiro

Março/2013

MICROENCAPSULAMENTO DO SUCO DE CAJU (*ANACARDIUM OCCIDENTALE,* L.) POR SPRAY DRYING, ANÁLISE DOS COMPOSTOS ANTIOXIDANTES E ESTABILIDADE.

Paola Daianne da Silva Maia

Dissertação de mestrado apresentada ao programa de Pós-Graduação em Nutrição Humana, do Instituto de Nutrição Josué de Castro da Universidade Federal do Rio de Janeiro como parte dos requisitos necessários à obtenção do Grau de Mestre em Nutrição Humana.

Rio de Janeiro, 21 de março de 2014.

Aprovado por:

.....
Prof.ª Dr.ª Anna Paola Trindade Rocha Pierucci
Instituto de Nutrição Josué de Castro / UFRJ - Orientadora

.....
Prof.ª Dr.ª Priscilla Vanessa Finotelli
Faculdade de Farmácia / UFRJ - Membro da banca e revisora

.....
Prof.ª Dr.ª Daniele da Silva Bastos Soares
Instituto de Nutrição / UFF - Membro da banca

.....
Prof.ª Dr.ª Eliane Fialho de Oliveira
Instituto de Nutrição / UFRJ - Membro da banca

.....
Prof.ª Dr.ª Mariana Costa Monteiro
Instituto de Nutrição / UFRJ - Suplente

.....
Prof.ª Dr.ª Valéria Pereira de Sousa
Faculdade de Farmácia / UFRJ - Suplente

.....
Prof.ª Dr.ª Vera Lúcia Valente Mesquita
Instituto de Nutrição / UFRJ - Co-orientadora

Dedico

Ao meu Deus e a minha Nossa Senhora Aparecida, por ter me sustentado durante essa caminhada.
Aos meus amados pais, José Messias e Marli, e irmão Werther, pelo amor, cuidado e por todo o apoio pra que eu pudesse chegar aqui.

AGRADECIMENTOS

A Deus e a Nossa Senhora Aparecida, por me ouvir tantas e tantas vezes, iluminando meus pensamentos e me direcionando para escolhas corretas. E por sempre ter colocado em meu caminho pessoas tão especiais.

À minha família, meu maior presente, pelo apoio, torcida e por, mesmo sem entender minha ausência e todas as dificuldades do desenvolvimento de um trabalho científico, se alegrar com as minhas conquistas e se preocupar com as minhas angústias. Em especial ao meu pai, por sonhar meus sonhos, pelo amor e pela dedicação durante todos esses anos, por nunca ter me faltado em nada, esse vitória dedico ao senhor.

Ao meu irmão, por ser mais que um irmão em minha vida, por ser meu grande amigo e me apoiar em todos meus sonhos.

À Profª. Drª. Anna Paola Pierucci, pela orientação, paciência, compreensão, preocupação e pela amizade construída ao longo destes anos. Obrigada pela oportunidade e por estar sempre disposta a me ouvir e me aconselhar, e pela confiança que sempre demonstrou em mim e no meu trabalho.

As minhas primeiras orientadoras, Vera Valente Mesquita e Maria Lúcia, por todos os ensinamentos e apoio, incentivo e amizade, durante o período em que fiz parte do laboratório e por continuarem sempre me apoiando.

A aluna de pós doc Christiane Queiroz, colaboradora deste projeto, por me passar toda sua sabedoria, além de uma amiga é um anjo em minha vida.

À Profª. Drª. Cristiana Pedrosa sempre estar disposta a nos ajudar em qualquer que seja o problema e sempre com seu bom humor alegrando nosso laboratório.

Aos meus amigos e amigas do laboratório DAFEE, agradeço o carinho, as palavras de incentivo e pela disponibilidade e boa vontade em ajudar, todas as vezes que precisei. Sem dúvidas vocês fizeram toda a diferença, deixando os meus dias mais felizes. Amo vocês!

A todos os amigos do Laboratório de Química e Análise de alimentos, meu antigo laboratório, no qual sempre estavam dispostos a ajudar e sempre com boa vontade, amizade e uma boa conversa me ajudaram muitas vezes durante esta caminhada.

.

MUITO OBRIGADA!!!

“A única coisa que interfere com meu aprendizado

é a minha educação." (Albert Eisntein)

RESUMO

MAIA, Paola Daianne da Silva. **Microencapsulamento do suco de caju (Anacardium Occidentale, L.) por spray drying, análise dos compostos antioxidantes e estabilidade**. 2014. 68 p. Dissertação (Mestrado em Nutrição Humana). Instituto de Nutrição Josué de Castro, Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ, 2014.

Este trabalho teve como objetivo avaliar o microencapsulamento do suco de caju (Anacardium occidentale, L.) por spray drying usando diferentes proporções de matrizes encapsulantes (ME) maltodextrina (M), capsul (C) e maltodextrina (M)/capsul (C) em diferentes concentrações de sólidos totais (ST), 10 e 15 %. As micropartículas foram avaliadas quanto ao percentual de retenção de ácido ascórbico, polifenois totais, umidade, rendimento, solubilidade, tamanho de partículas e microscopia eletrônica de varredura (MEV). Todas as micropartículas apresentaram 100% de solubilidade, os melhores resultados foram das micropartículas com maiores proporções de sólidos totais (15%) e pela mistura das matrizes encapsulantes (M) e (C). Quando comparada à utilização da matriz encapsulante de forma isolada, o capsul foi a matriz encapsulante que apresentou os melhores resultados em relação a maltodextrina. As micropartículas com (50:50) % M:C (15 % de ST) e (40:60) % M:C (15% de ST) apresentaram os melhores resultados quanto à retenção de ácido ascórbico, polifenois totais, além de boas propriedades físicas e melhor rendimento, mostrando potencial no desenvolvimento de produtos com relevância a saúde humana. As micropartículas formuladas com (40:60) % M:C, 100% M e 100% C, em 15% de ST, foram selecionadas para o estudo de estabilidade. As micropartículas foram armazenadas por 90 dias, em temperatura ambiente (22 °C) e protegidas da luz. As micropartículas foram caracterizadas quanto ao percentual de retenção de ácido ascórbico em quatro tempos: t0 (controle), t15, t30, t60 e t90 após sua produção. A redução do percentual de ácido ascórbico nas micropartículas só foi significativo no tempo 90º dia de armazenamento.

Palavras-chave: caju, maltodextrina, Capsul®, Atividade Antioxidante, ácido ascórbico, microencapsulação, spray drying, sucos de frutas em pó, frutas tropicais.

ABSTRACT

MAIA, Paola Daianne da Silva. **MICROENCAPSULAMENTO GROOVE CASHEW (ANACARDIUM OCCIDENTALE) BY SPRAY DRYING, ANALYSIS OF ANTIOXIDANT COMPOUNDS AND STABILITY.** 2014. 68 p. Dissertation (Master in Human Nutrition), Instituto de Nutrição Josué de Castro, Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ, 2014.

This study aimed to evaluate the microencapsulation of raw cashew (Anacardium occidentale L.) apple juice using spray drying and different encapsulating matrices (EM), such as maltodextrin (M), capsul (C) and maltodextrin (M)/capsul (C) at varied ratios, with different total solids (TS) contents (10% and 15%). Microparticles were evaluated as to the percent of ascorbic acid retention, total polyphenols, moisture content, yield, solubility, particle size and scanning electron microscopy (SEM). All microparticles showed 100% solubility. The best results were given by microparticles with the highest total solids content (15%) and composed of associated (M) and (C) encapsulating matrices. When comparison is made between capsul and maltodextrin as to the individual use of either as an encapsulating matrix, capsul demonstrated the best results. Microparticles with (50:50) % M:C (15% TS) and (40:60) % M:C (15% TS) presented the best results as to ascorbic acid retention, total polyphenols, and good physical properties, hence revealing potential in developing products of relevance to human health. The microparticles formulated with (60-40) % C:M, 100 M and 100% C, 15% of ST, were selected for the stability study. The microparticles were stored for 90 days at room temperature (22 °C) and protected from light. The microparticles were characterized in terms of percentage retention of ascorbic acid in four times: t0 (control), t15, t30, t60 and t90 after its production. The percentage reduction of ascorbic acid in the microparticles was only significant in time 90th day of storage.

Keywords: Cashew apple, maltodextrin, Capsul®, Antioxidante activity, ascorbic acid, Microencapsulation, spray drying, powder fruit juices, tropical fruits

Lista de figuras

Figura ..... **Página**

Figura 1. Ilustração de um cajueiro.....18

Figura 2. Mini spray drying utilizado na secagem.....34

Figura 3. Teor de ácido ascórbico (%) do suco de caju microencapsulado obtidos nos tratamentos com diferentes teores de sólidos totais e matrizes encapsulantes.....43

Figura 4. Teor de polifenois totais (%) do suco de caju microencapsulado obtidos nos tratamentos com diferentes teores de sólidos totais e matrizes encapsulantes.....43

Figuras 5. Micrografias das micropartículas provenientes de suco de caju *in natura* submetidos à secagem em *spray drying* em diferentes concentrações de matrizes encapsulantes.....45

Figuras 6. Micrografias das micropartículas provenientes de suco de caju *in natura* submetidos à secagem em *spray drying* em diferentes concentrações de matrizes encapsulantes, em 15% de sólidos totais.....47

Figura 7. Percentual de retenção de ácido ascórbico nas micropartículas de suco de caju com diferentes proporções de matrizes encapsulantes.....51

Lista de quadros e tabelas

Tabela .....**Página**

Tabela 1. Planejamento das formulações a serem testadas para o encapsulamento de suco de caju *in natura* por *spray drying*.....*33*

Tabela 2. Teor de umidade, pH, acidez total titulável (ATT), sólidos solúveis totais (SST) expresso em °Brix, ácido ascórbico e polifenois em suco de caju *in natura* (*Anacardium occidentale*, L.).....38

Tabela 3. Valores das respostas obtidas na secagem do suco de caju em *spray dryer*.....*39*

Tabela 4. Distribuição do tamanho de partícula.....50

Tabela 5- Taxa de degradação do ácido ascórbico em micropartículas de suco de caju armazenadas em temperatura ambiente e protegidas da luz, com diferentes concentrações de matrizes encapsulantes.....53

Lista de abreviaturas, siglas e símbolos

AA - Ácido ascórbico

ATT - Acidez total titulável

C - Capsul®

CEASA - Central de Abastecimento da Cidade do Rio de Janeiro

CMC – Carboximetilcelulose

CLAE - Cromatografia líquida de alta eficiência

CVS – Centro de Vigilância Sanitária

DE - Dextrose equivalente

DNA - Ácido desoxirribonucléico

DP - Grau de polimerização

INJC - Instituto de Nutrição Josué de Castro

Kg - Quilograma

L - Litro

LDL – Lipoproteína de Baixa Densidade

µm – Micrômetros

M – Maltodextrina

mg/g – Miligrama/grama

Ml – Mililitro

ME - Matriz encapsulante

MEV - Microscopia Eletrônica de Varredura

N – Núcleo

rpm - Rotação por minuto

span - Índice de espalhamento

SST - Sólidos solúveis totais

TACO - Tabela Brasileira de Composição de Alimentos

T_g - Temperatura de transição vítrea

UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro

UV – Ultravioleta

°c - Graus Celsius

µL - Microlitro

nm - Nanómetro

% ST - Porcentagem de sólidos totais

SUMÁRIO

1INTRODUÇÃO 15

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 17

2.1 CAJU 17

2.2 COMPOSTOS ANTIOXIDANTES 19

2.2.1 ÁCIDO ASCÓRBICO 20

2.2.2 COMPOSTOS FENÓLICOS 22

2.3 MICROENCAPSULAMENTO 23

2.4 MATRIZES ENCAPSULANTES 24

2.4.1 MALTODEXTRINA 25

2.4.2 CAPSUL 26

2.5 CARACTERIZAÇÃO DAS PARTÍCULAS 27

3 OBJETIVOS 29

3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 29

4 MATERIAL E MÉTODOS 30

4.1 DESENHO EXPERIMENTAL 30

4.2 OBTENÇÃO DAS AMOSTRAS 31

4.3 CARACTERIZAÇÃO DO SUCO DE CAJU 31

4.4 DETERMINAÇÃO DOS TEORES DE COMPOSTOS ANTIOXIDANTES 31

4.4.1 ÁCIDO ASCÓRBICO 31

4.4.2 POLIFENOIS 31

4.5 PRODUÇÃO DAS MICROPARTÍCULAS 31

4.5.1 PREPARO DAS SOLUÇÕES ALIMENTADORAS 32

4.5.2 SPRAY DRYING 33

4.6 ANÁLISES MICROPARTÍCULAS 34

4.6.1 UMIDADE 34

4.6.2 MORFOLOGIA 34

4.6.3 DISTRIBUIÇÃO DO TAMANHO DE PARTÍCULAS 35

4.6.4 SOLUBILIDADE 35

4.7 CRITÉRIOS DE ELEGIBILIDADE PARA ESTUDO DE ESTABILIDADE 35

4.8 ESTUDO DE ESTABILIDADE 36

4.9 MODELAGEM DA CINÉTICA DE DEGRADAÇÃO DO ÁCIDO ASCÓRBICO 36

4.10 ANÁLISES ESTATÍSTICAS 37

4.11.1 AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS DE SECAGEM 38

4.11.2 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA 44

4.11.3 DISTRIBUIÇÃO DO TAMANHO DE PARTÍCULA 49

4.11.4 DEGRADAÇÃO DO ÁCIDO ASCÓRBICO 51

5 CONCLUSÕES 55

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS 57

1. INTRODUÇÃO

O cajueiro (*Anacardium occidentale*, L.) é uma planta tropical, originária do Brasil. De acordo com o aspecto botânico, a verdadeira fruta do cajueiro é a castanha, amêndoa envolvida por uma casca dura, conhecida e apreciada em muitos países; enquanto o pedúnculo (pseudofruto), mais conhecido como caju, conecta a castanha à árvore e apresenta estrutura semelhante a uma fruta pequena, com polpa comestível, fibrosa e suculenta, além de *flavour* agradável e típico (TASSARA & SILVA, 2002; EMBRAPA, 1998). Cerca de 90% da produção mundial de caju é proporcionada pelo Brasil. A principal região produtora é o Nordeste, que contribui com mais de 95% da produção nacional (FAO, 2008; EMBRAPA, 2003; TASSARA & SILVA, 2002).

O caju tem grande importância nutricional, pois contém vitaminas, sais minerais, ácidos orgânicos e carboidratos (PAIVA, GARRUTI & SILVA NETO, 2000), além de elevado potencial antioxidante, proporcionado pela presença de ácido ascórbico (AA), carotenóides e polifenois (QUEIROZ *et al*., 2010; LAVINAS *et al*., 2006; ASSUNÇÃO & MERCADANTE, 2003). Porém, o aproveitamento do pedúnculo para consumo humano é inferior a 20% do total produzido anualmente, devido à sua elevada adstringência e perecibilidade, sendo principalmente consumido *in natura* ou utilizado na produção de doces e sucos pasteurizados (CRISÓSTOMO *et al*., 2009; EMBRAPA, 1998). Portanto, o aumento do consumo do caju e de seus derivados depende de avanços tecnológicos no seu processamento.

Há uma crescente demanda por produtos de fruta “prontos para o consumo” ou “fáceis de preparar” pela população em geral (OLIVEIRA *et al*, 2009). Neste sentido, as indústrias alimentícias têm buscado desenvolver produtos que venham a atender as expectativas dos consumidores quanto à conveniência, benefícios à saúde e qualidade sensorial. Dentre as tecnologias mais modernas aplicadas para atender a este objetivo há o processo de microencapsulamento de nutrientes e alimentos.

O microencapsulamento é definido como a tecnologia de embalamento de materiais ativos em matrizes encapsulantes poliméricas, obtendo-se partículas de tamanhos na ordem de micrômetros (μm). O encapsulamento visa impedir a interação da substância de interesse com o meio, além deliberá-la a taxas

controladas, em condições específicas (DZIEZAK, 1988). O *spray drying* é o método de microencapsulamento mais viável economicamente para a produção de micropartículas de grau alimentar (RÉ, 1998).

Entretanto, processar sucos de frutas por *spray drying* pode ser uma tarefa difícil, devido, principalmente, à presença de açúcares de baixo peso molecular, tornando-os altamente higroscópicos (ROOS, 1995; JAYA & DAS, 2004). Durante o aquecimento por *spray drying* pode haver adesão de partículas nas paredes da câmara de secagem, prejudicando a formação de partículas secas (pó) e favorecendo a formação de uma estrutura pastosa (BHANDARI *et al*, 1997; DOLINSKY *et al*, 2000). Consequentemente, o produto formado pode apresentar baixo rendimento e estabilidade, além de gerar problemas operacionais no equipamento.

A transformação de alimentos e formulações líquidas em pós, através do *spray drying,* é uma via capaz de proporcionar maior valor agregado a produtos obtidos de recursos naturais. Este processo promove inúmeras vantagens para o transporte e distribuição de alimentos, pois reduz volume e massa pela remoção de água, além de estabilizar e concentrar nutrientes e compostos bioativos, normalmente instáveis à oxidação e ao calor, mantendo suas características sensoriais, como cor e sabor, e permitindo sua utilização na formulação de novos alimentos visando produtos com características funcionais à saúde.

Considerando a importância econômica da cultura do caju, principalmente para a região Nordeste do Brasil, e o baixo aproveitamento comercial do pedúnculo, faz-se necessário estudar alternativas para industrialização deste alimento altamente perecível. A compreensão do efeito do processamento sobre os componentes do caju pode proporcionar melhoria na formulação de produtos de qualidade e acessibilidade.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Caju

O cajueiro é uma planta tropical, originária do Brasil, cuja safra ocorre entre os meses de setembro e janeiro, principalmente na região Nordeste, que contribui com mais de 95% da produção nacional. Hoje em dia é bem distribuído em vários países da Ásia, África e América Central, como uma safra agrícola de grande importância econômica (EMBRAPA, 1999; LEITE & PAULA-PESSOA, 2002). O Brasil permanece como o sétimo maior produtor mundial de caju (FAO, 2008), com base na produção média anual de 260 000 toneladas de castanha do Brasil, há uma produção de mais de 2 milhões de toneladas de caju de pseudofruto em cada colheita (FAO, 2009; LAUTIÉ *et al*., 2001).

O cajueiro pode ser encontrado em praticamente todos os estados brasileiros, porém adapta-se melhor ao litoral nordestino, ao clima tropical e ao solo seco. Antes da década de 50 do século XX, a exploração do caju era apenas extrativista e sua produção com fins comerciais iniciou-se com a implementação do Campo Experimental de Pacajus (Ceará) pelo Ministério da Agricultura, com o intuito de desenvolver pesquisa agronômica (INSTITUTO CAJU NORDESTE, 2010; FAO, 2008; EMBRAPA, 2003; TASSARA & SILVA, 2002; EMBRAPA, 1998).

A palavra “caju” vem da língua tupi e significa “a castanha que se auto produz”. Botanicamente, a verdadeira fruta do cajueiro é a castanha, amêndoa envolvida por uma casca dura, conhecida e apreciada em muitos países; enquanto o pedúnculo (pseudofruto), mais conhecido como caju, conecta a castanha à árvore, é não climatérico e apresenta estrutura semelhante a uma fruta pequena, com polpa comestível, fibrosa e suculenta, além de apresentar “flavour” agradável e típico, cores, formas e tamanhos variáveis (**Figura 1**). Todavia, não existem variedades ou cultivares definidas (TASSARA & SILVA, 2002; EMBRAPA, 1998).

Figura 1. Ilustração de um cajueiro.

O caju apresenta importância nutricional, pois contém vitaminas, sais minerais, ácidos orgânicos e carboidratos (PAIVA, GARRUTI & SILVA NETO, 2000). O pedúnculo ou pseudofruto caju tem se destacado por sua função antioxidante devido à presença de substâncias biologicamente ativas, tais como vitamina C, carotenóides, compostos fenólicos, substâncias sulfuradas, glicosídeos indólicos e frutooligossacarídeos (BASTOS, 2011). O teor de ácido ascórbico no pseudofruto é, em geral, superior aos encontrados em alguns frutos tais como goiaba, mamão, limão e tomate. No pseudofruto de caju os teores de vitamina C podem variar de 120 a 300 mg/100 g (BASTOS, 2011; LIMA *et al*., 2004). Os carotenóides, juntamente com as antocianinas, são pigmentos naturais responsáveis por conferir a coloração característica do pseudofruto do caju e, assim, tendem a apresentar uma concentração maior em sua epiderme. O pseudofruto do caju contém carotenóides cujo teor varia de 12 a 28 mg/g de fruto fresco expresso em β-caroteno. Já as antocianinas, enquadradas na categoria dos flavonóides, são pigmentos solúveis em água responsáveis por conferir aos frutos as várias nuances de vermelho, laranja e azul (FRANCIS, 1989).

A literatura também vem destacando, nos últimos tempos, os compostos fenólicos como um grupo importante de substâncias bioativas presente no pedúnculo de caju com características antioxidantes (MAIA *et al.,* 2004). Além dos taninos, que, por sua concentração bastante elevada, desempenham importante papel na determinação do sabor do pseudofruto de caju, outros compostos fenólicos também são encontrados no pedúnculo do caju tais como o ácido gálico, ácido protocatecuico, ácido caféico e catequina (MAIA *et al.,* 2004). Outros estudos também verificaram que no caju, dentre os grupos de polifenois existentes, havia

taninos, ácidos fenólicos e flavonóides (QUEIROZ *et al*., 2010; MICHOUDJEHOUN-MESTRES *et al*., 2009; BRITO *et al*., 2007).

Mesmo considerando o valor nutricional e o potencial antioxidante do pseudofruto, este não apresenta grande importância econômica, principalmente quando comparado com a castanha, devido à adstringência e perecibilidade. Assim como outras frutas tropicais, o caju amadurece e deteriora-se facilmente em temperatura ambiente devido à elevada atividade de água e ao intenso metabolismo. Tendo em vista esta característica, a estocagem sob refrigeração pode ser utilizada para desacelerar este processo e, consequentemente, aumentar o tempo de vida útil do caju após a colheita. Atualmente, o aproveitamento do pedúnculo é inferior a 20% do total produzido, sendo consumido *in natura* ou utilizado na produção de preparações diversas, como doces em pasta ou em calda, caju cristalizado, caju-ameixa, rapadura, mel, geléia e xarope, além de bebidas, incluindo suco integral ou concentrado, cajuína, refrigerante, polpa congelada, licor, aguardente e néctar (CRISÓSTOMO *et al*., 2009; MESQUITA *et al*., 2003; EMBRAPA, 1998).

O consumo do caju *in natura* é limitado a poucos países e às regiões Norte e Nordeste do Brasil e vem se consolidando no Sudeste, onde o suco ainda é mais amplamente aceito. A qualidade do pedúnculo para o consumo *in natura* está relacionada com firmeza do pseudofruto, baixa adstringência e acidez, sabor doce e formato piriforme. Do ponto de vista industrial, são mais importantes o rendimento do suco, a baixa adstringência e acidez e o sabor doce (EMBRAPA, 2003; EMBRAPA, 1998). Portanto, o aumento no consumo do caju e de seus derivados, tanto no mercado nacional quanto internacional, depende de avanços tecnológicos no seu processamento.

2.2 Compostos antioxidantes

As células humanas são constantemente expostas a agentes oxidantes, alguns dos quais essenciais à manutenção da vida. A produção intracelular de radicais livres está relacionada ao estilo de vida, que inclui fatores como dieta, fumo, atividade física, radiação ultravioleta e poluição. Estes compostos também podem ser produzidos pelo próprio metabolismo celular, incluindo respiração, fagocitose, apoptose e coagulação. A produção de radicais livres em excesso causa desequilíbrio, promovendo o estresse oxidativo, que, por sua vez, gera danos

moleculares, resultando em risco aumentado para o desenvolvimento de doenças crônicas não transmissíveis. Os danos causados pelos radicais livres incluem oxidação de aminoácidos e DNA (ácido desoxirribonucléico), o que promove danos na expressão gênica, deleções, fragmentações e rearranjos cromossômicos. No caso dos lipídios de membrana, ocorre a peroxidação, a qual altera sua permeabilidade e, consequentemente, gera morte celular (SAGIN &SOZMEN, 2004; LIU, 2003; VENEREO, 2002).

Os radicais livres são metabólitos intermediários de vida muito curta (milésimos de segundo) que se caracterizam por alta reatividade e grande instabilidade, decorrente da presença de um ou mais elétrons não pareados, que promovem reações em cadeia e, consequentemente, danos celulares. Alguns exemplos de espécies reativas de oxigênio são: radical hidroxila, ânion superóxido e peróxido de hidrogênio. Para combater o efeito deletério promovido pelo excesso de compostos oxidantes, o organismo possui um sistema antioxidante enzimático composto por enzimas como catalase, glutationa peroxidase e superóxido dismutase. Além deste sistema, existe o não enzimático, que é constituído, principalmente, por antioxidantes ingeridos a partir da dieta.

O ideal é manter o equilíbrio entre compostos oxidantes e antioxidantes, proporcionando adequadas condições fisiológicas ao organismo. Os antioxidantes atuam por meio de diferentes mecanismos, incluindo vias metabólicas, modulação imunológica e indução hormonal (BLACK, 2004; LIU, 2003; VENEREO, 2002).

Há cada vez mais evidências a respeito dos possíveis benefícios proporcionados pelos antioxidantes, presentes principalmente em frutas e hortaliças, tendo em vista que a etiologia de várias doenças crônicas não transmissíveis está relacionada ao estresse oxidativo. É fundamental ressaltar que o potencial antioxidante dos alimentos deve-se ao efeito sinérgico entre os vários tipos de compostos existentes na matriz alimentar, como, por exemplo, ácido ascórbico, carotenóides e polifenois (LIU, 2003).

2.2.1 Ácido ascórbico

A descoberta da vitamina C está relacionada ao estudo do escorbuto, uma doença que ocorre em consequência da deficiência desta vitamina e promove alterações na síntese de colágeno e da lâmina basal vascular, gerando fragilidade capilar. Há mais de 3500 anos, já havia relatos a respeito desta enfermidade,

adquirindo condição de epidemia nas viagens de descobrimento e comércio dos séculos XV a XVIII, quando os navegantes passavam por períodos muito prolongados sem consumir frutas e hortaliças frescas. Em adultos, o escorbuto caracteriza-se por debilidade, dor articular, presença de petéquias, sangramento de gengiva, facilidade para desenvolver hematomas e dificuldade de cicatrização. Em crianças, as manifestações ósseas são as mais frequentes. Sabe-se que a incidência do escorbuto diminuiu significativamente; porém, casos isolados ainda podem ser encontrados, principalmente, em países em desenvolvimento. O tratamento constitui-se em administrar suplementos de ácido ascórbico (VALDÉS, 2006).

O ácido ascórbico é considerado o principal antioxidante intracelular, tendo em vista que é hidrossolúvel e capaz de sequestrar espécies altamente reativas, formando um radical de baixa reatividade (FENNEMA, 2010; IOM, 2000; LEHNINGER, 1995).

A maior parte dos mamíferos e dos vegetais é capaz de sintetizar a vitamina C a partir do metabolismo da glicose; todavia, como os humanos possuem a deficiência, geneticamente determinada, da gulonolactona oxidase o que impede a síntese do ácido L-ascórbico a partir da glicose, logo, o consumo dessa vitamina na alimentação diária, principalmente a partir de frutas cítricas e hortaliças folhosas, torna-se indispensável. Dentre as funções da vitamina C, destacam-se: aumento da absorção de ferro, fortalecimento do sistema imunológico, formação e manutenção do colágeno, prevenção da oxidação de lipoproteínas de baixa densidade (LDL), redução da atividade plaquetária e participação na síntese de catecolaminas e no metabolismo do ácido fólico. Como antioxidante, os mecanismos bioquímicos pelos quais a vitamina C age incluem: incorporação do AA ao sistema inibidor de hialuronidase, evitando a metástase de tumores; potencialização do sistema imunológico em decorrência do aumento da produção de linfócitos e prevenção da apoptose dos mesmos durante infecções; prevenção da formação de nitrosaminas no sistema gastrointestinal; estímulo a atividade detoxificante do sistema citocromo P450; modulação da expressão gênica, do ciclo celular e da apoptose; regeneração da vitamina E; e reação direta com radicais livres (FENNEMA, 2010; VALDÉS, 2006; CARR & FREI, 1999; HEAD, 1998).

Por outro lado, é importante destacar que a vitamina C, por ser um potente agente redutor, quando em alta concentração e/ou na presença de elevado teor de

metais de transição, pode agir como pró-oxidante, promovendo lipoperoxidação e danos moleculares às proteínas e ao DNA (CERQUEIRA, MEDEIROS & AUGUSTO, 2007; FERREIRA & MATSUBARA, 1997).

A vitamina C pode ser degradada, tanto por via aeróbica, quanto anaeróbica, o que depende de diversos fatores, tais como: taxa de oxigênio, pH, temperatura, luminosidade, tempo de estocagem, tipo de processamento e de embalagem. Esta vitamina também é susceptível à degradação por via enzimática, principalmente por ação da ascorbato oxidase e da peroxidase (DAVEY *et al*., 2000).

2.2.2 Compostos fenólicos

Nos últimos anos, os compostos fenólicos, ou polifenois, têm recebido grande atenção, constituindo a classe de antioxidantes mais abundante na dieta humana (MANACH *et al*., 2004).

Estes compostos estão amplamente distribuídos em plantas, podendo conferir cor e sabor às mesmas, além de apresentarem importante papel no crescimento, na reprodução e na proteção das plantas contra patógenos e predadores. Estes compostos constituem uma das principais classes de metabólitos secundários, podendo ser encontrados sob a forma solúvel ou hidrolisável, sendo a segunda correspondente à fração solúvel acrescida dos compostos ligados a resíduos de glicose.

Os polifenois são formados por um anel aromático, ligado a uma ou mais hidroxilas, variando de uma estrutura simples até moléculas altamente polimerizadas (NACZK & SHAHIDI, 2006; SCALBERT, JOHNSON & SALTMARSH, 2005; LESSCHAEVE & NOBLE, 2005; BRAVO, 1998).

As principais fontes dietéticas são as bebidas derivadas de frutas e hortaliças, como sucos, chás, cafés e vinhos. O teor e a composição em polifenóis dos alimentos podem variar de acordo com a espécie, cultivar e tipo de tecido vegetal ou em consequência de fatores edafoclimáticos, assim como durante o processamento e a estocagem, pois são compostos susceptíveis tanto à ação potencial de oxi-redução das células (HALLIWELL, RAFTER & JENNER, 2005; MOSKAUG *et al*., 2005; FORMAN, TORRES & FUKUTO, 2002). Além do potencial antioxidante, os polifenóis também são capazes de afetar a expressão gênica e a sinalização e adesão celulares (YUAN, GONG & YOUNG, 2005; WHEELER *et al*., 2004; WILLIAMS *et al*., 2004). Com base nestes conceitos, sabe-se que os polifenois

contribuem para a redução do risco de ocorrência de doenças cardiovasculares, câncer e osteoporose e, também, sugere-se que reduzam o risco de ocorrência de doenças neurodegenerativas e de diabetes mellitus (SCALBERT *et al*., 2005).

2.3 Microencapsulamento

Com o aumento da utilização de compostos bioativos na indústria alimentícia, o microencapsulamento vem ganhando cada vez mais destaque, já que tais compostos podem ser rapidamente inativados de acordo com as condições do ambiente, do processamento e do trato gastrointestinal. O microencapsulamento pode ser definido resumidamente como um processo onde uma substância é embalada por outra, conferindo assim proteção por meio de uma barreira física (NEDOVIC *et al.,* 2011). O material revestido é denominado núcleo ou material ativo encapsulado, e o material que forma o revestimento é conhecido como matriz, material de parede ou encapsulante (GOUIN, 2004). Essa tecnologia produz partículas capazes de liberar seus conteúdos em taxas controladas e em sítios específicos, além de impedir a interação do núcleo com componentes presentes nos alimentos, retardando assim o processo de degradação do material de interesse e facilitando a sua inserção em alimentos (MCCLEMENTS & LESMES, 2009)

Novos alimentos funcionais são constantemente desenvolvidos pelas indústrias de alimentos e de bebidas e colocados no mercado com o sentido de reforçar ou adicionar nutrientes e compostos bioativos como vitaminas, minerais, antioxidantes, prebióticos e probióticos. Muitos destes ingredientes apresentam susceptibilidade à degradação e/ou podem interagir com outros componentes da matriz, conduzindo a uma perda na qualidade do alimento funcional. Uma forma de contornar este problema é o de isolar os compostos bioativos do meio envolvente (SANGUANSRI & AUGUSTIN, 2010).

Diversas tecnologias podem ser empregadas na produção de compostos microencapsulados, mas o encapsulamento por *spray drying* é a tecnologia mais difundida, devido à sua flexibilidade e o baixo custo. Este método baseia-se na pulverização (atomização) de uma solução aquosa ou emulsão, contendo o material ativo e a matriz encapsulante, em uma câmara de ar quente, sendo as gotículas secas (pó) recuperadas por meio de ciclone em coletores (GOUIN, 2004). As partículas formadas podem ser classificadas quanto ao tamanho, sendo

denominadas macrocápsulas (>5000μm), microcápsulas (1-5000μm) ou nanocápsulas (<1μm) (SANGUANSRI & AUGUSTIN, 2006).

2.4 Matrizes encapsulantes

Existem disponíveis no mercado uma grande variedade de materiais susceptíveis de serem usados como matrizes encapsulantes, mas as escolhas mais frequentes recaem sobre os amidos modificados, as maltodextrinas, as gomas, as proteínas e os açúcares. A seleção da matriz depende muito da composição química do material a encapsular, do método de encapsulamento, das características desejadas da microcápsula e da sua aplicação industrial. Outras considerações envolvem, por exemplo, o custo de produção (WESTING *et al*., 1988).

As matrizes devem proteger os compostos ativos da oxidação, luz, umidade e de outras substâncias presentes no sistema, mascarar sabores, aromas e odores, retardar a libertação dos compostos ativos, impedir a saída de componentes voláteis, possuir a capacidade de incorporar o composto ativo em formas que possibilitem o seu fácil manuseio e introdução na produção de alimentos (KING *et al.*, 1976).

Materiais utilizados como encapsulantes devem ser de grau alimentar, serem solúveis em água, em altas concentrações, além de possuir propriedades emulsificantes, formar filmes e apresentar baixa viscosidade (REINECCIUS, 1988). Os carboidratos, como: a maltodextrina, a dextrina, a amilopectina e a amilose, são os mais utilizados pela indústria alimentícia. Esses materiais são considerados bons agentes encapsulantes, pois exibem baixa viscosidade em altas concentrações de sólidos e boa solubilidade. No entanto, a maioria deles não possui propriedades emulsificantes (YOSHII *et al*., 2001). Contudo, polissacarídeos com propriedades gelificantes são capazes de produzir emulsões estáveis (DALGLEISH, 2006).

Uma matriz encapsulante composta por diversas substâncias pode ter um desempenho superior ou inferior, a uma matriz composta por apenas uma substância. O sucesso da mistura irá depender da estrutura do sistema enscapsulante que será formado (Jimenez *et al.*, 2006). Pierucci *et al*. (2007), ao encapsular α-tocoferol com quatro matrizes diferentes, demonstrou uma maior retenção do nutriente e um menor tamanho de partícula, nas partículas, cuja matriz era composta por maltodextrina e carboximetilcelulose (CMC), em comparação as

partículas, cuja matriz era composta apenas por CMC. No entanto, nesse mesmo estudo, a inserção de maltodextrina em uma matriz protéica teve um efeito completamente inverso, diminuindo a retenção do nutriente e aumentando o tamanho da partícula.

2.4.1 Maltodextrinas

As maltodextrinas são produzidas por hidrólise ácida, enzimática ou, ainda, pela combinação de ambos os processos sobre o amido (CHRONAKIS, 1998). São produtos parcialmente hidrolisados do amido formado de cadeias de D-glicose conectadas por ligações α-(1,4) (SHAHIDI; HAN, 1993). Os hidrolisados são descritos em relação à sua dextrose equivalente (DE), que é uma medida do total do número de unidades de α-D-glicose anidro e está ligada ao seu grau de polimerização (DP), ou seja, ao número de unidades monoméricas em uma molécula de polímero, de forma que DE=100/DP (KENNEDY; KNILL; TAYLOR, 1995). Para serem chamados de maltodextrinas, eles devem ter dextrose equivalente (DE) menor que 20. Se o DE é maior que 20, são chamados de xarope de amido (SHAHIDI; HAN, 1993).

Maltodextrinas de diferentes valores de DE têm diferentes propriedades físico-químicas, incluindo solubilidade, temperatura de congelamento e viscosidade (KLINKERSORN *et al*., 2004),

são produtos com baixa higroscopicidade e não apresentam sabor doce. A maltodextrina é um dos principais materiais de aplicação no processo de secagem por *spray dryer*, devido às suas características físicas, tais como solubilidade elevada e baixa viscosidade, mesmo quando se encontram em elevadas concentrações de sólidos (CANO-CHAUCA *et al*., 2005; GOUBET; LE QUERE; VOILLEY, 1998).

Devido às vantagens apresentadas, e no intuito de reduzir custos elevados inerente da goma arábica, a maltodextrina tem sido investigada como um substituto da goma arábica na formação de emulsões para microencapsulação por meio de secagem por *spray drying* (SINGHAL, 2005).

A principal desvantagem do uso de maltodextrina é a deficiência na capacidade de emulsificação e a baixa retenção de compostos voláteis (BUFFO; REINECCIUS, 2000). Entretanto, Anandaraman e Reineccius (1986) identificaram a importância do número de dextrose equivalente (DE) das maltodextrinas, verificaram

que a retenção de compostos voláteis eleva-se com o aumento do número de dextrose equivalente (DE) das maltodextrinas. Essa melhoria ocorre por meio da formação de superfície rígida ao redor das partículas secas, aumentando a retenção de compostos voláteis encapsulados, devido à redução da permeabilidade da matriz encapsulante. Com isso, maltodextrinas com maior peso molecular e baixo valor de dextrose equivalente conferem maior estabilidade física à matriz da parede (BAE; LEE, 2008).

Bae e Lee (2008) encapsularam óleo de abacate por *spray drying*, usando, como matriz encapsulante, a proteína de soro de leite isolada e uma combinação desta com a maltodextrina. Propriedades físicas, tais como molhabilidade e densidade, foram melhoradas com o aumento da concentração de maltodextrina usada como matriz, explicada pela possível formação de uma estrutura física mais compacta da matriz hidrofílica.

Contudo, a maltodextrina não promove uma boa retenção de compostos voláteis durante o processo de secagem por vaporização, protege os ingredientes encapsulados da oxidação (REINECCIUS 1991; RÉ, 1998) e possui custo relativamente baixo. Anandaraman e Reineccius (1986) estudaram a estabilidade e a proteção do *flavor* de óleo de laranja encapsulado com maltodextrina de diferentes dextroses equivalentes. Os autores concluíram que maltodextrinas com maior dextrose equivalente aumentam a proteção ao óleo de laranja encapsulado. No entanto, o maior problema deste material de parede é a sua baixa capacidade de emulsificação. Portanto, é desejável utilizar maltodextrina em combinação com outra matriz encapsulante.

2.4.2 Capsul®

Este material corresponde a um amido de milho ceroso enzimaticamente modificado. A modificação consiste em acrescentar um componente lipofílico - succinato de octanil - o que, nas formulações, aumenta a capacidade e a estabilidade de emulsões. O Capsul®, também conhecido por amido octenilsuccinato, é um derivado de amido obtido pela esterificação do amido com o ácido octenilsuccinato anidro, resultando, em um amido hidrofobicamente modificado (WANG *et al*., 2011; RUAN *et al*., 2009). Na busca de um material substituto para a goma arábica para a redução de custos, a National Starchand Chemical Corporation, dos Estados Unidos, desenvolveu um amido modificado chamado Capsul®.

O amido modificado é, portanto, um agente encapsulante muito usado pela excelente retenção de voláteis (acima de 93%), pela estabilização da emulsão e a baixa viscosidade (ABURTO; TAVARES; MARTUCCI, 1998; ARANCIBIA et al., 2011). Igualmente, os amidos modificados têm baixa viscosidade, o que permite seu uso em maiores concentrações que a goma arábica, e a melhor retenção de aromas. Por outro lado, segundo Reineccius (1991), os amidos modificados exercem pouca proteção contra oxidação durante a estocagem.

Como resultado, este derivado de amido tem se destacado como um emulsionante eficaz (WANG *et al*., 2011) e é, portanto, utilizado preferencialmente como um agente encapsulante no processo de microencapsulação de alimentos. Assim, o amido modificado ou Capsul® (nome comercial) tem capacidade de formar emulsões finas, com a formação de película envolvente, proporcionando boa estabilidade para as mesmas.

2.5 Caracterização das partículas

As partículas formadas apresentam diferentes propriedades físicas (tamanho, estrutura, distribuição das partículas, densidade aparente, porosidade, solubilidade, molhabilidade, dispersibilidade, temperatura de transição vítrea (T_g), entre outras), sendo que a medida e a caracterização destas propriedades ajudam a definir o produto, os parâmetros de secagem e os fenômenos que influenciam no seu comportamento (TEUNOUT & FITZPATRICK & SYNOTT, 1999). Já as propriedades químicas, como retenção do material encapsulado, eficiência de microencapsulamento, dentre outras, estão relacionadas à composição do alimento e suas interações com outras substâncias, como solventes ou outros componentes dentro da sua própria estrutura (BARBOSA-CÁNOVAS & JULIANO, 2005).

A microestrutura das partículas está relacionada a propriedades como funcionalidade, estabilidade e fluidez. Micropartículas com indentações e poros na sua superfície podem afetar a retenção/liberação do núcleo, a fluidez e a capacidade de reconstituição do pó. (DRUSCH *et al*., 2007, SHEU & ROSENBERG, 1998). A microestrutura de microcápsulas produzidas por *spray drying* é influenciada pela composição e propriedades da matriz encapsulante, razão núcleo:matriz, parâmetros de secagem e condições de estocagem (SHEU & ROSENVERG, 1998). Geralmente, esse parâmetro é avaliado por microscopia eletrônica de varredura

(MEV). De acordo com Aguilera & Stanley (1990), esta técnica permite avaliar tanto as características da superfície como as internas.

O tamanho das partículas influencia diretamente propriedades funcionais, como: solubilidade, dispersibilidade e a liberação do composto de interesse (PIERUCCI *et al*., 2006, CHOI *et al.,* 2010). A viscosidade da solução alimentadora, a composição e propriedades da matriz encapsulante, o método de dispersão utilizado, os parâmetros de secagem e a razão núcleo:matriz são os fatores que afetam o tamanho de partícula (JAFARI *et al.*, 2008; DRUSCH *et al*., 2007). A maioria dos estudos utiliza a técnica de difração de laser para avaliar o tamanho de partícula e os resultados são expressos em diâmetro médio.

3. OBJETIVO GERAL

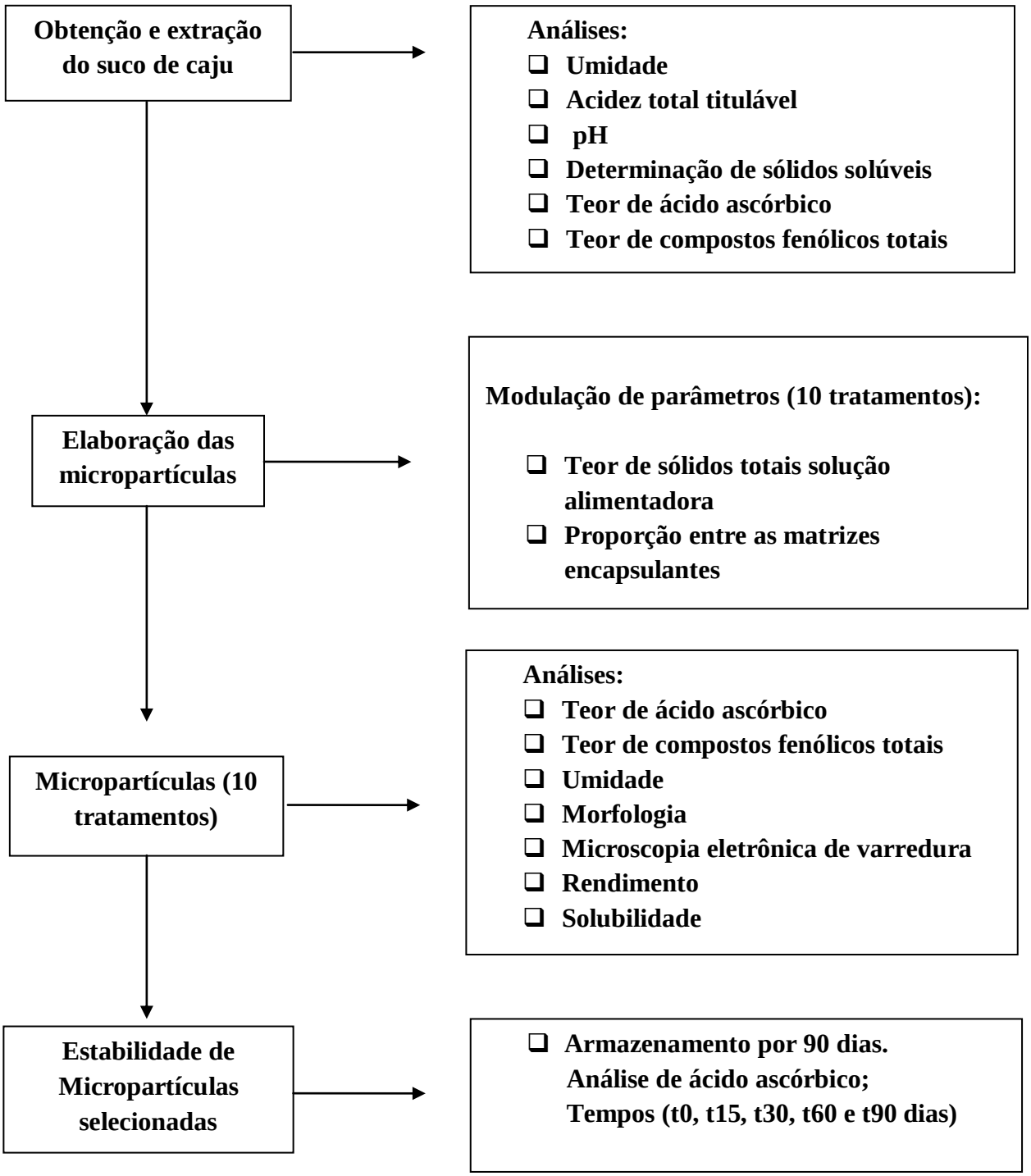
Microencapsular suco de caju (*Anacardium occidentale,* L.) por *spray drying* e analisar as diferentes proporções de matrizes encapsulantes.

3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar os parâmetros físicos e químicos do suco de caju *in natura;*
- Avaliar o efeito de diferentes teores de sólidos totais e proporções de matrizes encapsulantes (Maltodextrina e Capsul®) no microencapsulamento do suco de caju *in natura*;
- Avaliar as micropartículas obtidas quanto às capacidade antioxidantes, propriedades físicas, solubilidade e rendimento;
- Verificar a estabilidade do suco de caju microencapsulado ao longo de 90 dias de armazenamento.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Desenho Experimental: o esquema abaixo consiste em apresentar todas as etapas realizadas.



4.2 Obtenção das amostras

Foram adquiridos 150 unidades de caju, produzidas em Petrolina/Pernambuco em estágio de maturação comercial no CEASA (Centrais de Abastecimento) da cidade do Rio de Janeiro e transportadas na própria embalagem em temperatura ambiente para o Instituto de Nutrição Josué de Castro (INJC), da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), onde 118 unidades de cajus foram selecionados, descastanhados e higienizados de acordo com as normas descritas na Portaria CVS n° 6 (BRASIL, 1999), com peso bruto de 23 kg e peso líquido 19,4 kg. O suco foi obtido em extrator, com volume final de 16,87 L, embalados em alíquotas de 50 e 100 ml e armazenados em freezer -80°c para análises posteriores.

4.3 Caracterização do suco de caju *in natura*

Foram determinados os seguintes parâmetros físico-químicos: acidez total titulável (ATT), em triplicata, com NaOH 0,1 N, expressa em g% de ácido cítrico; pH em potenciômetro digital; e teor de sólidos solúveis totais (SST) em refratômetro de abbe, expresso em °Brix. Estas análises foram realizadas de acordo com as normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz (2008).

4.4 Determinação dos teores de compostos antioxidantes

4.4.1 Ácido ascórbico

O teor de AA foi determinado, em duplicata, por cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE), utilizando detector UV (ultravioleta) de fotodiiodo Shimadzu SPD-M10A. Amostra de 1 mL do suco foi centrifugada por 10 minutos. A 50 µL do sobrenadante obtido, adicionou-se 950 µL de tampão fosfato de potássio (KH_2PO_4) 2%, pH 2,32, ajustado com HCl 1 M. A mistura foi filtrada em filtro para seringa com poro de 0,22 µm e foram aplicados 250 µL em coluna C-18 Shimadzu, fase móvel utilizada foi de tampão fosfato de potássio (KH_2PO_4) 2%. O fluxo utilizado foi de 0,4mL/min; o tempo de corrida, de 20 minutos; e o eluente monitorado a 254 nm. Foi feita uma curva de calibração de AA e os resultados foram expressos em mg de AA/100mL de suco (PAULO *et al.,* 1999).

4.4.2 Polifenois totais

Polifenois totais foram extraídos de acordo com Vinson *et al*., (2001). Para a extração da fração, 100 µL de suco de caju foram homogeneizados em 500 µL de solução de metanol a 50%. As amostras foram mantidas em banho-maria a 90 ºC por 3 horas. Após o resfriamento, completou-se o volume com metanol até 1 mL e a mistura foi centrifugada por 5 minutos a 5000 rpm. O teor de compostos fenólicos foi determinado, em triplicata, pelo método de Folin-Ciocalteu (SINGLETON, ORTHOFER & LAMUELA-RAVENTOS, 1999), modificado por Karou *et al*. (2005). O padrão utilizado foi o ácido gálico e os teores de polifenois totais expressos em mg de ácido gálico equivalente/100 mL de suco (mg AG equivalente/100 mL).

4.5. Produção das micropartículas

4.5.1 Preparo das soluções alimentadoras

As soluções alimentadoras do *spray dryer* foram preparadas a partir da dissolução das matrizes encapsulantes Maltodextrina (M) (MOR REX 1910 - Corn Products, Brasil) e Capsul® (National Starch, São Paulo) em água destilada com homogeneização em Ultra-Turrax (T 25 – Ika® Labotechnik) (13.500 rpm), sendo o suco de caju natural gotejado nas soluções. Foram produzidas 10 formulações diferentes, conforme apresentado na **Tabela 1,** sendo a proporção matriz encapsulante /núcleo em todas as formulações de 5:1 (OLIVEIRA *et al*, 2008). Variou-se a proporção de componentes da matriz encapsulante, onde as formulações de 1 ao 5 apresentaram 10 % de sólidos totais e as formulações 6 à 10 apresentaram 15 % de sólidos totais. As soluções finais possuíram o volume de 100 ml em todos os processos. Os produtos em pó obtidos (micropartículas) foram armazenados em freezer -80°C.

Tabela 1. Planejamento das formulações a serem testadas para o encapsulamento de suco de caju *in natura* por *spray drying.*

Tratamento	Sol. Caju (g)	M (g)	Capsul (g)	%ST	ME:N	M:C
1	1,66	8,33	–	10	5:1	1:0
2	1,66	–	8,33	10	5:1	0:1
3	1,66	4,16	4,16	10	5:1	1:1
4	1,66	5	3,33	10	5:1	1,5:1
5	1,66	3,33	5	10	5:1	1:1,5
6	2,5	12,5	–	15	5:1	1:0
7	2,5	–	12,5	15	5:1	0:1
8	2,5	6,25	6,25	15	5:1	1:1
9	2,5	7,5	5	15	5:1	1,5:1
10	2,5	5	7,5	15	5:1	1:1,5

% ST: Porcentagem de sólidos totais; ME:N: proporção matriz encapsulante/núcleo; M:C: proporção Maltodextrina/Capsul®.

4.5.2 *Spray drying*

Foi utilizado o equipamento Mini *Spray Dryer* Büchi, modelo B-290 (Büchi Laboratoriums Technik AG), nas seguintes condições operacionais: temperatura de entrada e saída a 180°C e 80°C, respectivamente; vazão de alimentação de 17 $ml.min^{-1}$ e bico atomizador de 0,3 mm, localizado no Laboratório de Desenvolvimento de Alimentos para Fins Especiais e Educacionais (LabDAFEE). Os processos de secagem das soluções alimentadoras foram realizados em triplicata para todos os tratamentos. O rendimento dos processos foi avaliado em relação à quantidade em g das partículas coletadas do ciclone e do coletor do *spray drying* em relação à quantidade total de sólidos contidos na solução alimentadora **(Equação 1)**.

$$Rendimento(\%) = \frac{partículas\ coletadas(g) X\ 100}{sólidos\ da\ emulsão\ (g)} \qquad \textbf{[Equação 1]}$$

Figura 2. Mini Spray Dryer Büchi 290 (Büchi Laboratoriums Technik Flawil, Suíça).

4.6 Análises das micropartículas

As seguintes análises foram feitas nas micropartículas obtidas dos 10 tratamentos. A fim de proceder a escolha do melhor processo: teor de ácido ascórbico e teor de compostos fenólicos totais, conforme os itens 4.4.1 e 4.4.2, e umidade, morfologia, distribuição de tamanho de partículas e solubilidade, conforme descrito a seguir.

4.6.1 Umidade

O teor de umidade foi avaliado em balança de umidade (MA35- Hexis, Alemanha), utilizou-se alíquotas de 500 mg. As análises foram realizadas no Laboratório de Desenvolvimento de Alimentos para Fins Especiais e Educacionais (LabDAFEE).

4.6.2 Morfologia

A morfologia das partículas foi avaliada por meio de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), realizada no Laboratório de Ultraestrutura Celular Hertha Meyer, do Instituto de Biofísica da UFRJ. As amostras foram depositadas em fita adesiva de carbono dupla-face, fixada na superfície da base do Microscópio Eletrônico de

Varredura (MEV), JEOL JSM 5310, a 15kV. As amostras foram recobertas com uma fina camada de ouro em metalizador Balzers, Union FL 9496 e analisadas no microscópio conforme descrito por Pierucci *et al.* (2006).

4.6.3 Distribuição do tamanho de partícula

A distribuição do tamanho das partículas foi determinada pela técnica de difração a laser, em equipamento analisador de tamanho de partículas Malvern Mastersizer MicroPlus, MAF 2000 (Malvern, Reino Unido), para partículas com 43 diâmetro na faixa entre 0,02 e 2000.000 µm, no Laboratório de Biotecnologia Farmacêutica (pbiotech), UFRJ. As amostras foram dispersas em álcool etílico na proporção que satisfaz o índice de obscuração de 10%, conforme especificação do equipamento. O equipamento analisador de tamanho de partículas é programado para executar 3 leituras consecutivas das amostras e fornecer o resultado médio de cada amostra. Os resultados fornecidos pelo equipamento foram apresentados na forma de D[0,1], D[0,5] e D[0,9], que correspondem respectivamente ao tamanho máximo em µm de 10%, 50% e 90% das partículas analisadas, além do índice de espalhamento “span”, que corresponde à variação entre os tamanhos das partículas das amostras, conforme descrito por Pierucci *et al.* (2006).

4.6.4 Solubilidade

A solubilidade foi avaliada pelo método de Eastman & Moore (1984). Amostras de 1g foram adicionadas a 100 ml de água destilada e homogeneizadas durante 5 min, à 15.000 rpm. Após esse processo, a solução foi centrifugada a 3000x g por 5 min e uma alíquota de 25 ml do sobrenadante foi transferida para um recipiente, previamente tarado em estufa a 105 ºC. O recipiente com o sobrenadante foi seco em estufa a 105 ºC durante 5 h. A solubilidade (%) corresponderá à diferença de peso do recipiente. As análises foram realizadas no Laboratório de Desenvolvimento de Alimentos para Fins Especiais e Educacionais (LabDAFEE).

4.7 Critérios de elegibilidade das partículas para o estudo de estabilidade

Os critérios para a escolha das micropartículas para o estudo de estabilidade foram as micropartículas que apresentaram melhores resultados quanto ao teor de AA, polifenois totais e rendimento.

4.8 Estudo de estabilidade

As micropartículas formuladas com (60:40) % C:M, em 15% de sólidos totais (tratamento 10) foram selecionadas para o estudo de estabilidade. Adicionalmente, para fins de comparação, foram submetidas também ao estudo de estabilidade as micropartículas formuladas com as matrizes isoladas, 100 % M e 100% C (tratamentos 6 e 7). Imediatamente após a produção, as micropartículas foram armazenadas em dessecador, protegidas da luz durante 90 dias, em temperatura ambiente (22 °C). As micropartículas foram caracterizadas quanto ao percentual de retenção de ácido ascórbico. (conforme descrito no item 4.4.1) em quatro tempos de coleta, sendo eles: tempo zero (t0) (controle), 15º dia (t1), 30º dia (t2), 60º dia (t3) e 90°dia (t4).

4.9 Determinação da cinética de degradação do ácido ascórbico

Os dados de retenção do ácido ascórbico foram ajustados utilizando equações de reação zero ordem (concentração *versus* tempo) (4.9.1), primeira ordem (ln da concentração *versus* tempo) (4.9.2) e segunda ordem (concentração^{-1} *versus* tempo) (4.9.3):

$$C_0 - C = k_0 t \quad (4.9.1)$$

$$-1n(C/C_0) = k_1 t \quad (4.9.2)$$

$$(1/C) - (1/C_0) = k_2 t \quad (4.9.3)$$

Onde C_0 é a concentração inicial, C a concentreção final, t o tempo, k_0 a constante de reação de zero ordem, k_1 a constante de reação de primeira ordem e k_2 a constante de reação de segunda oredem.

As constantes de reação foram estimadas por regressão linear, sendo considerados os coeficientes de correlação mais altos para a definição da ordem de reação.

4.10 Análises estatísticas

As análises foram realizadas em triplicata. Os resultados foram expressos em médias e desvios-padrão, tratados estatisticamente utilizando testes de variância como ANOVA seguido de teste de Fisher (LSD) a 5 % de significância, com o auxílio do programa computacional Statistica (da Statsoft), versão 12.

4.11 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.11.1 Avaliação de parâmetros para o microencapsulamento do suco de caju

Os resultados da composição físico-química do suco de caju *in natura* após a extração estão apresentados na **Tabela 2**. Não foi encontrada uma legislação na qual poderíamos comparar os parâmetros de qualidade do suco de caju *in natura*; confrontamos então com os dados existentes na literatura.

Tabela 2. Teor de umidade, pH, acidez total titulável (ATT), sólidos solúveis totais (SST) expresso em °Brix, ácido ascórbico e polifenois em suco de caju *in natura* (*Anacardium occidentale*, L.)

Item analisado	Concentrações	Método de Análise
Umidade	89,07% ± 0,03	AOAC (2006)
pH	4,16 ± 0,00	Potenciômetro
ATT	0,43 g% de ácido cítrico ± 0,00	AOAC (2006)
SST	10,9 ± 0,057 °Brix	AOAC (2006)
Ácido ascórbico	201,8 mg/100 mL	CLAE
Polifenois totais	310,31 mg/100 mL	Folin-Ciocalteu

Os resultados obtidos para pH e SST encontram-se de acordo com o preconizado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 1998), que afirma que o caju maduro deve apresentar pH entre 3,5 e 4,6 e SST entre 9,8 e 14 °Brix. A ATT foi semelhante à observada por Queiroz *et al*. (2010), porém inferiores aos verificados por Lavinas *et al*. (2008), que apresentou 0,46 g% ácido cítrico.

Os teores de compostos fenólicos totais apresentou teor inferior aos observados em cajus por Queiroz *et al*. (2010). É importante ressaltar que o teor e a composição em polifenois dos alimentos podem variar de acordo com a espécie, cultivar e tipo de tecido vegetal ou em consequência de fatores edafoclimáticos, assim como durante o processamento e a estocagem, pois são compostos susceptíveis tanto à ação de enzimas, quanto a reações não enzimáticas.

De acordo com a Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TACO, 2011) o valor de umidade foi semelhante e o teor ácido ascórbico de 119,7 mg/100g foi inferior ao encontrado em nosso estudo. Em relação a outros estudos, os resultados de umidade e ácido ascórbico encontrados no suco de caju *in natura* estão de acordo com o preconizado na literatura (RUFINO *et al*., 2010; MICHODJEHOUN MASTER *et al*., 2009; ASSUNÇÃO & MERCADANTE, 2003; AKINWALE *et al*., 2001).

Os resultados de umidade, retenção de ácido ascórbico, retenção de polifenois totais e rendimento das micropartículas produzidas com diferentes concentrações de sólidos totais e proporções de matrizes encapsulantes são apresentados na **Tabela 3**

Tabela 3. Valores das respostas obtidas na secagem do suco de caju em *spray dryer.*

Ensaios	Umidade (%)	Retenção de AA (%)	Retenção Polifenois (%)	Rendimento (%)
1	$3,2 \pm 0,6^{a}$	$30,81 \pm 0,36^{e}$	65.85 ± 6.38^{b}	$38,03 \pm 1,79^{b}$
2	$2,9 \pm 0,5^{a}$	$56,65 \pm 0,51^{cd}$	69.05 ± 5.97^{b}	$54,30 \pm 3,68^{ab}$
3	$2,8 \pm 0,6^{a}$	$62,58 \pm 0,60^{bc}$	67.72 ± 6.46^{b}	$59,10 \pm 10,17^{ab}$
4	$2,7 \pm 0,7^{a}$	$50,67 \pm 0,77^{d}$	89.38 ± 6.53^{a}	$59,47 \pm 11,78^{ab}$
5	$3,5 \pm 0,4^{a}$	$55,21 \pm 3,21^{cd}$	92.28 ± 6.92^{a}	$62,80 \pm 9,47^{ab}$
6	$3,2 \pm 0,6^{a}$	$64,56 \pm 2,95^{bc}$	61.77 ± 3.59^{b}	$46,76 \pm 8,25^{ab}$
7	$4,0 \pm 0,3^{a}$	$68,82 \pm 6,42^{b}$	74.39 ± 6.15^{b}	$59,77 \pm 1,37^{ab}$
8	$3,6 \pm 0,0^{a}$	$100 \pm 6,90^{a}$	92.53 ± 5.40^{a}	$67,68 \pm 3,23^{a}$
9	$3,5 \pm 0,7^{a}$	$66,54 \pm 5,80^{bc}$	90.35 ± 6.37^{a}	$66,42 \pm 1,72^{a}$
10	$3,5 \pm 0,1^{a}$	$96,39 \pm 5,41^{a}$	100 ± 6.04^{a}	$69,75 \pm 0,63^{a}$

Letras diferentes nas colunas indicam diferença estatisticamente significativa entre as amostras produzidas ($p<0,05$).

O teor de umidade das micropartículas produzidas variou de 2,7 ± 0,7 a 4,0 ± 0,3% sem apresentar diferença significativa. Tonon *et al.,* (2010) encontram resultados semelhantes ao microencapsular suco de açaí com diferentes concentrações de maltodextrina (10% M, 8% M e 6% M); os dados não apresentaram diferença significativa em relação à umidade (2,54 ± 0,14, 2,46 ± 0,12 e 2,32 ± 0,05 %). De acordo com Oliveira *et al.,* (2009), teores de umidade inadequadamente altos não apenas prejudicam a fluidez das micropartículas, como também afetam o rendimento do processo, podendo até mesmo comprometer a estabilidade microbiológica do produto final, por permitir o desenvolvimento de fungos.

A retenção de ácido ascórbico presente no suco de caju microencapsulado variou entre 30,81% (100 % M, 10 % ST) e 100% (50:50 % M:C, 15% ST). Como podemos observar, a **Figura 3** mostra o percentual de retenção de AA dos tratamentos testados, com diferentes concentrações de sólidos totais e matrizes encapsulantes. A retenção de ácido ascórbico foi afetada positivamente pela concentração de sólidos totais, visto que as micropartículas com 15 % de sólidos totais apresentaram o maior conteúdo de AA. A combinação de M/C contribui também para uma melhor retenção de AA. Em ambos os tratamentos, com 10% ou 15 % de ST, os melhores resultados são apresentados pelas micropartículas que possuem as matrizes encapsulantes associadas. Quando comparadas à utilização da forma isolada, o percentual de retenção é inferior. Entretanto, o capsul foi a matriz encapsulante que apresentou os melhores resultados quando utilizado de forma isolada.

No estudo de Oliveira *et al.,* (2009) o microencapsulamento de suco de caju integral na proporção 5:1 (50% de M/50% de goma de cajueiro/Sólidos do Caju), apresentou retenção de ácido ascórbico 95,46%. Finotelli *et al*. (2007), ao encapsular 20 ou 15 % de AA usando como matrizes encapsulantes Capsul, Maltodextrina e Capsul / maltodextrina na proporção de 1:1, observaram 100% de retenção de AA nas microcápsulas. Esse resultado está de acordo com Trindade *et al.* 2000, em que o AA foi encapsulado por goma arábica/grânulos porosos de amido/gelatina.

A retenção de AA também foi observada na produção de microcápsulas a partir de outras fontes alimentares. Esposito *et al.*, (2002), usando como matriz encapsulante Eudragit® na microencapsulação de ácido ascórbico, obteve de 98 a

100% de retenção. Podemos ver também isso no estudo de Pierucci *et al.,* (2009), em que se avaliou o uso de isolados protéicos de ervilha (*Pisum sativum*) e feijão-caupi (*Vigna unguiculata*) associados à maltodextrina, na microencapsulação de ácido ascórbico. A retenção de AA a partir do processo de secagem foi superior quando utilizado o isolado protéico de ervilha (69%) em relação ao de feijão-caupi (66%).

A retenção de polifenois totais presente no suco de caju microencapsulado variou entre 61,77 ± 3,59 a 100 ± 6,04%. A **Figura 4** mostra o percentual de retenção de polifenois totais dos tratamentos testados, com diferentes concentrações de sólidos totais e matrizes encapsulantes. Os melhores resultados foram encontrados no microencapsulamento com 15% de ST e composto por matrizes encapsulantes de forma associada. Bakowska-Barczak e Kolodziejczyk (2011) microencapsularam, pela técnica de *spray-dryer,* extratos de groselha preta (*Ribes nigrum L.*) em matriz de maltodextrinas com diferentes graus de dextrose equivalente (DE11, DE18, DE21) e inulina e não encontraram perdas significativas no conteúdo de polifenois após o processamento.

Sansone *et al.*, (2011), microencapsularam extratos de *Fadogia ancylantha, Melissa officinalis* e *Tussilago farfara,* todos ricos em compostos fenólicos, na matriz de maltodextrina/pectina por *spray-dryer*. Não houve alteração significativa do conteúdo de polifenois totais. Extrato de própolis, rico em compostos fenólicos, foi encapsulado pelo método de coacervação complexa com proteína isolada de soja e pectina como matrizes encapsulantes. O percentual de retenção variou de 66,12 a 72,01% (NORI *et al*., 2011).

O rendimento do processo variou de 38,03 ± 1,79 a 69,75 ± 0,63% e, como pode ser observado na **Tabela 3**, o rendimento do processo aumentou com o uso de mais de uma matriz encapsulante e com o maior teor de sólidos no processo de secagem. Os obtidos estão satisfatórios para a tecnologia empregada e a modulação da composição da matriz melhorou o rendimento. As micropartículas que apresentaram capsul em sua composição melhoraram o rendimento do processo em comparação com a maltodextrina, tal resultado pode ser explicado pela estrutura molecular do capsul, tornado este material de parede com a capacidade de secagem mais rápida.

Tonon *et al.,* (2010), ao microencapsular suco de açaí com diferentes concentrações de maltodextrina (10%, 8% e 6%), apresentaram rendimento de

49,34, 48,6 e 46,88%, mostrando que a utilização da maltodextrina de forma isolada apresenta baixo rendimento. No estudo de Pierucci *et al.,* (2009), a adição de maltodextrina aumentou o rendimento das micropartículas, independente do tipo de isolado protéico utilizado, mostrando a importância da associação de diferentes matrizes encapsulantes.

De toda forma por tratar-se de um equipamento com produção de escala laboratorial pode não refletir na mesma produção em larga escala, sendo apropriado estudos se forem reproduzidos por indústrias.

A solubilidade em todas as formulações produzidas foi de 100%. Resultados semelhantes foram relatados por Cano-Chauca *et al.*, (2005), na avaliação da solubilidade de suco de manga microencapsulado com o uso de diferentes matrizes encapsulantes. Os autores observaram que a solubilidade das micropartículas contendo somente maltodextrina e goma arábica tiveram valores superiores a 90%. Da mesma forma, Tonon (2009), ao avaliar a solubilidade em água de micropartículas produzidas com maltodextrinas 10 e 20 DE e goma arábica verificaram que esta foi muito elevada, acima de 94%. Cano-Chauca *et al.,* (2005) ressaltam que tratamentos com maltodextrina possibilitam elevado grau de solubilidade; assim, por causa dessa e de outras propriedades físicas favoráveis, esse é um dos carreadores mais utilizados em spray drying. Valores semelhantes também foram encontrados em suco de romã encapsulados (CHOI *et al*., 2010).

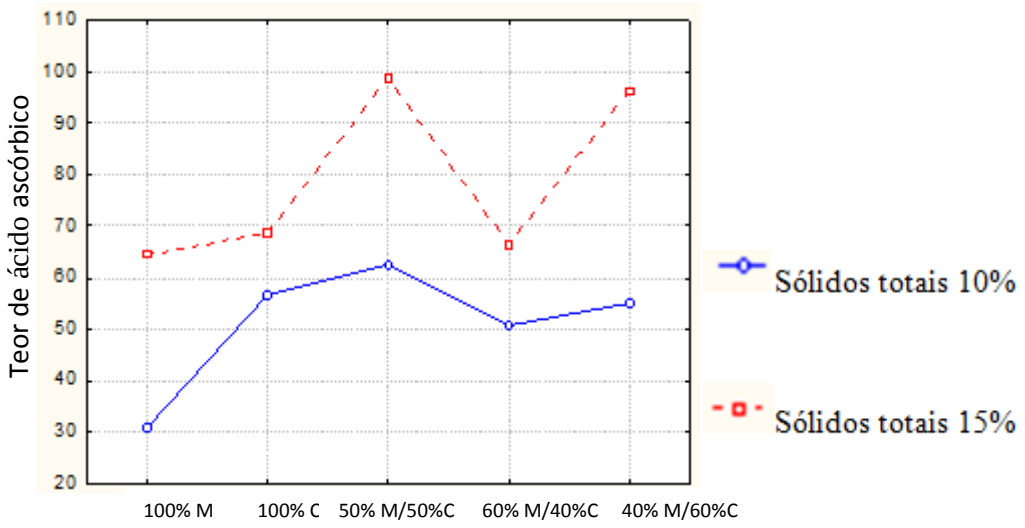


Figura 3 – Teor de ácido ascórbico (%) do suco de caju microencapsulado obtidos nos tratamentos com diferentes teores de sólidos totais e matrizes encapsulantes.

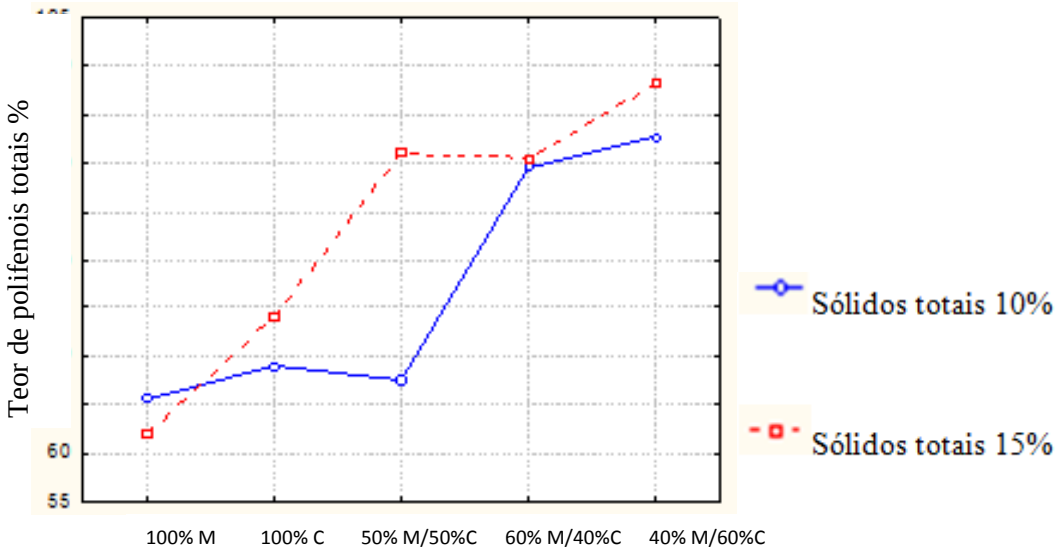
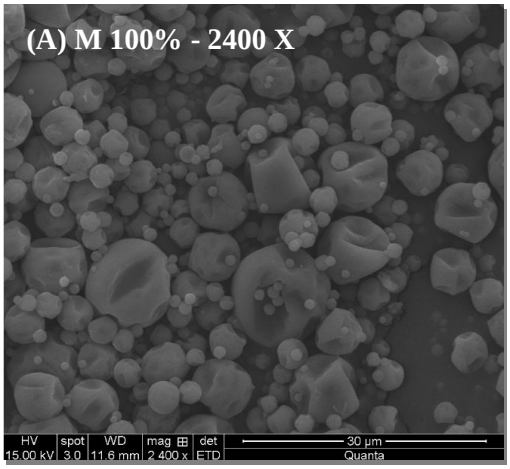
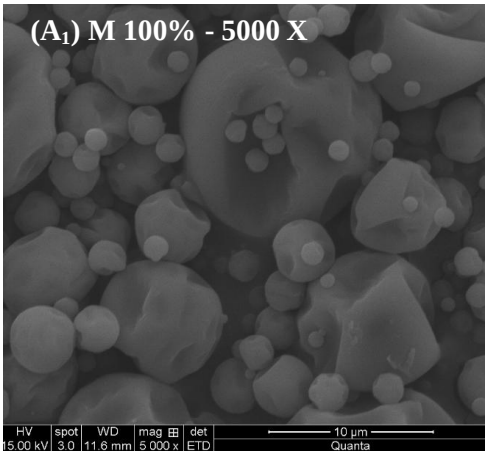
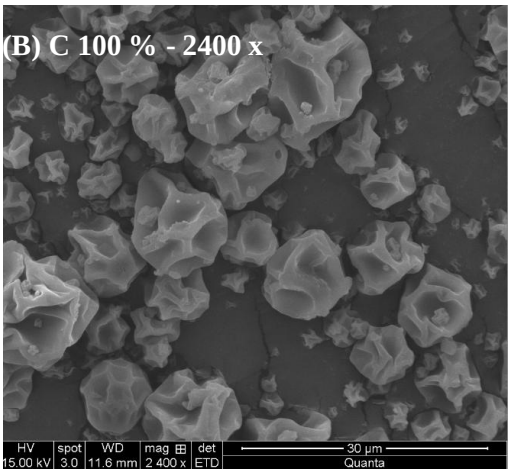


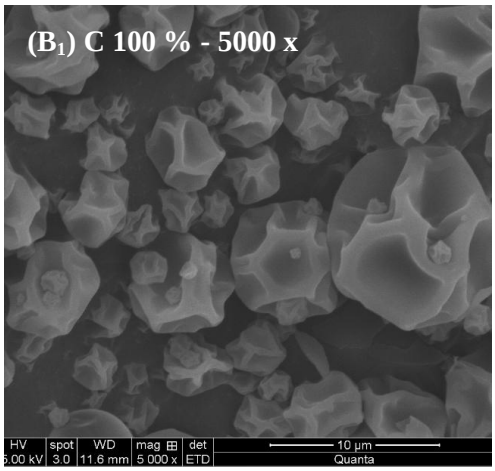
Figura 4 – Teor de polifenois totais (%) do suco de caju microencapsulado obtidos nos tratamentos com diferentes teores de sólidos totais e matrizes encapsulantes.

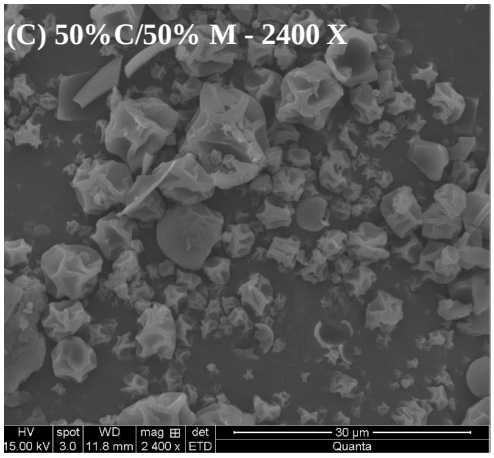
4.11.2 Morfologia

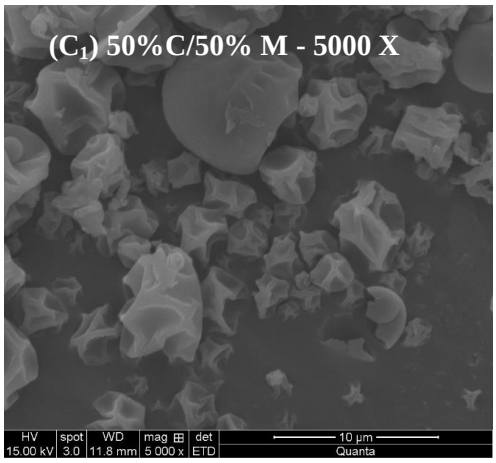


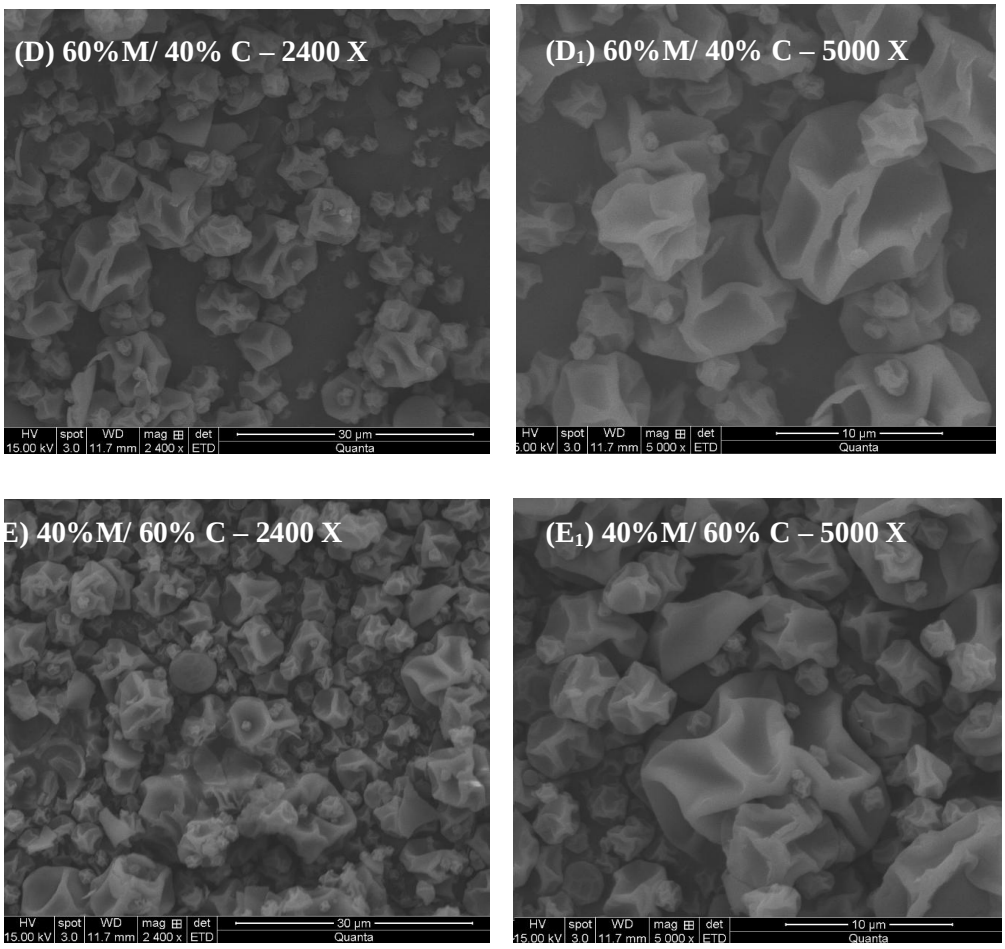




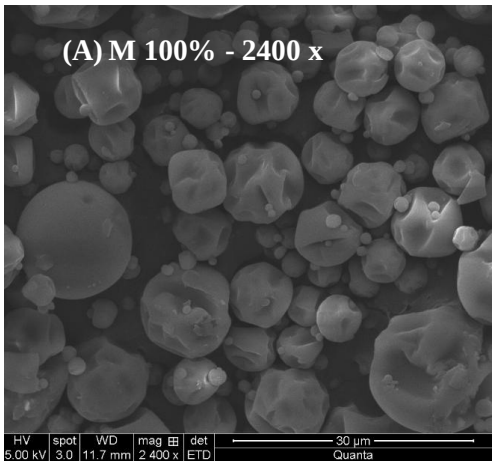


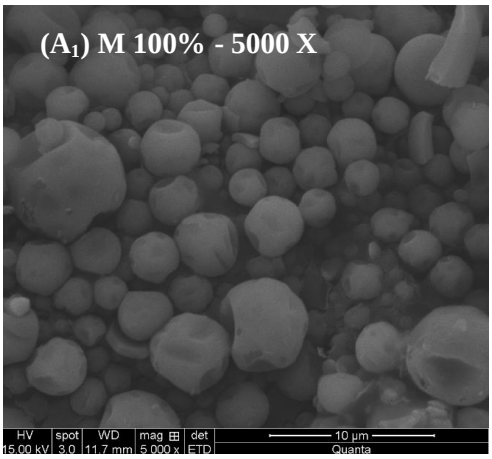


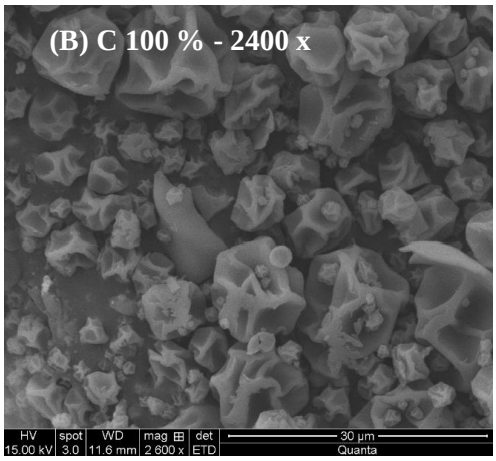


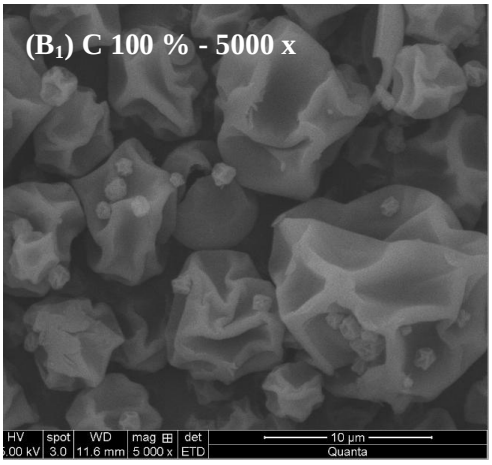


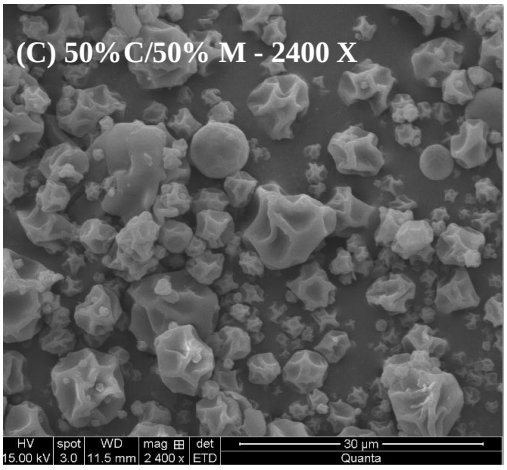
Figuras 5. Micrografias das micropartículas provenientes de suco de caju *in natura* submetidos à secagem em *spray drying* em diferentes concentrações de matrizes encapsulantes, em 10% de sólidos totais. Magnificação de 2400 e 5000 vezes: (a) (a_1) Maltodextrina (100%) (b) (b_1) Capsul (100%), (c) (c_1) Maltodextrina (50%)/Capsul (50%), (d) (d_1) Maltodextrina (60%)/Capsul (40%) e (e) (e_1) Maltodextrina (40%)/Capsul (60%).

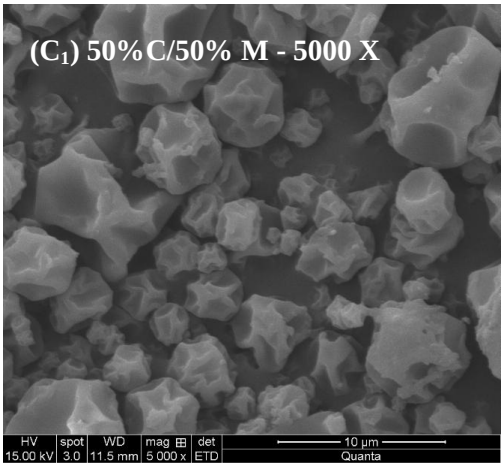

(A) M 100% - 2400 x
HV 5.00 kV
spot 3.0
WD 11.7 mm
mag 2 400 x
det ETD
30 µm
Quanta

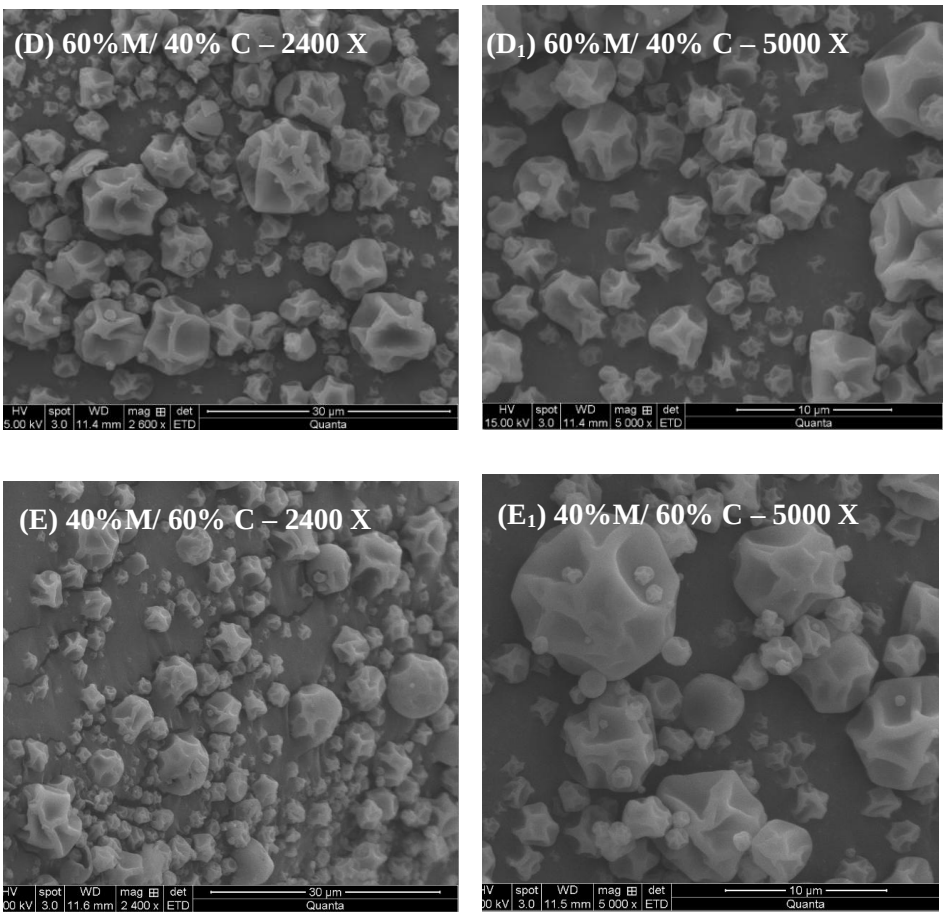

(A1) M 100% - 5000 X
HV 15.00 kV
spot 3.0
WD 11.7 mm
mag 5 000 x
det ETD
10 µm
Quanta


(B) C 100 % - 2400 x
HV 15.00 kV
spot 3.0
WD 11.6 mm
mag 2 600 x
det ETD
30 µm
Quanta


(B1) C 100 % - 5000 x
spot 3.0
WD 11.6 mm
mag 5 000 x
det ETD
10 µm
Quanta


(C) 50%C/50% M - 2400 X
HV 15.00 kV
spot 3.0
WD 11.5 mm
mag 2 400 x
det ETD
30 µm
Quanta


(C1) 50%C/50% M - 5000 X
HV 15.00 kV
spot 3.0
WD 11.5 mm
mag 5 000 x
det ETD
10 µm
Quanta



Figuras 6. Micrografias das micropartículas provenientes de suco de caju *in natura* submetidos à secagem em *spray drying* em diferentes concentrações de matrizes encapsulantes, em 15% de sólidos totais. Magnificação de 2400 e 5000 vezes: (a) (a_1) Maltodextrina (100%), (b) (b_1) Capsul (100%), (c) (c_1) Maltodextrina (50%)/Capsul (50%), (d) (d_1) Maltodextrina (60%)/Capsul (40%) e (e) (e_1) Maltodextrina (40%)/Capsul (60%).

A análise da superfície das micropartículas obtidas a partir da secagem em *spray dryer* foi realizada em caráter tridimensional pelo uso de microscopia eletrônica de varredura. As Figuras 5 e 6 apresentam as micrografias das micropartículas com 10 e 15 % de sólidos totais, com diferentes concentrações de matrizes encapsulantes.

Não foram observadas diferenças morfológicas nas micropartículas com 10% e 15% de ST. No entanto, a composição das matrizes encapsulantes modificou a morfologia das micropartículas, que apresentaram geometria esférica, mas diferiram quanto à sua topografia da superfície. As micropartículas encapsuladas por maltodextrina **(Figura 5 e 6 (A_1 /A_2)** apresentaram superfícies menos rugosas e com formato mais esférico. As micropartículas que apresentaram em sua composição o capsul foram caracterizadas por invaginação intensa e rugosidade **(Figuras 5 e 6 (B_1/B_2, C_1/C_2, D_1/D_2 e E_1/E_2)).**

As partículas apresentaram geometria esférica irregular, com presença de algumas depressões na superfície. A formação destas depressões nas superfícies das partículas provenientes da secagem em *spray drying* geralmente é atribuída à retração das partículas pela drástica perda de umidade seguida de resfriamento no processo (SAÉNZ *et al*., 2009; TONON, 2009). Percebeu-se também, forte aderência das partículas menores à superfície das partículas maiores, fato também observado por Cano-Chauca *et al*., (2005).

Resultados semelhantes foram obtidos por Finotelli *et al*., (2005), ao encapsular AA utilizando como matrizes encapsulantes, a maltodrextrina, o capsul e a maltodextrina/capsul. As micropartículas constituídas de capsul verificaram maiores invaginações quando comparadas a maltodextrina. Pierucci *et al.* (2007) mostraram que a adição de maltodextrina a proteína de ervilha não afetou a morfologia da superfície das micropartículas.

Righetto (2003) apresentou resultados semelhantes para suco de acerola microencapsulado com maltodextrina 20DE e goma arábica. Rodrigues (2004), também verificou resultados semelhantes para extrato concentrado de café microencapsulado com maltodextrina, goma arábica e goma do cajueiro.

A presença das invaginações interfere adversamente na fluidez do pó e nas propriedades de estabilidade e de reconstituição do núcleo (Rosenberg & Kopelman and Talmon, 1990). No entanto, a capacidade de encapsulação de um material é determinada pelo grau de integridade e porosidade das micropartículas (SHEU &

ROSENBERG, 1998). Não foram observados fissuras e poros abertos nas micropartículas.

4.11.3 Distribuição do Tamanho de Partícula

O tamanho das partículas influencia diretamente propriedades funcionais das micropartículas, como: solubilidade, dispersibilidade e a liberação do composto de interesse (CHOI *et al*., 2010; PIERUCCI *et al*., 2006). A **Tabela 4** apresenta a distribuição do tamanho de partículas e do índice de espalhamento “span”, que corresponde à variação entre os tamanhos das partículas das amostras, obtido nas micropartículas produzidas. As partículas apresentaram diâmetro variando de 1.08 a 27.16 µm, aproximadamente.

As micropartículas produzidas com maltodextrina mostraram uma distribuição mais ampla, o que significa que essas partículas são menos homogêneas, que mostraram que a adição de maltodextrina aumenta o tamanho das partículas. A maltodextrina pode induzir a formação rápida de uma superfície vítrea, que permite a expansão do ar no interior de micropartículas, favorecendo o aumento do tamanho médio de partícula. O efeito na concentração de sólidos no tamanho de partículas só foi evidenciado nos processos que usou maltodextrina como matriz encapsulante, nos demais processos o tamanho não foi significativo em relação aos respectivos.

As micropartículas cujo material foi composto de M/C mostraram a distribuição mais estreita de tamanho, apresentando a distribuição mais homogênea, resultado semelhante foi encontrado por Finotelli *et al*., (2007) no microencapsulamento de ácido ascórbico usando matrizes encapsulantes M/C.

Righetto (2003) observou diâmetros próximos em suco de acerola microencapsulado com maltodextrina 20DE e goma arábica, sendo que as micropartículas com predomínio da primeira matriz encapsulante apresentaram um diâmetro médio de 16 a 17 µm, enquanto as produzidas com o segundo agente apresentaram um diâmetro médio entre 19 e 20 µm. Dib Taxi (2001) observou uma diferença maior no diâmetro do suco de camu-camu microencapsulado com maltodextrina 10DE e goma arábica. O autor obteve um diâmetro médio de 39 µm para as partículas produzidas com maltodextrina e de 13,7 µm para as produzidas com goma arábica.

Os tratamentos 8 (50:50 M/C, 15% ST) e 10 (40:60 M/C, 15 % ST) apresentaram as menores perdas dos compostos antioxidantes, o menor tamanho

médio, mas apresentaram o maior span. O span influência diversas características tecnológicas das partículas, dentre elas: dispersibilidade, perfil de liberação e solubilidade. Sendo a última analisada neste trabalho, embora as micropartículas tenham variado na dispersão dos seus tamanhos, este parâmetro não influenciou a solubilidade das mesmas, visto que todas elas apresentaram 100% de solubilidade.

Tabela 4. Distribuição do tamanho de partícula

Tratamentos	Ensaios Diâmetro (µm)			Span
	d (0,1)	d (0,5)	d (0,9)	
1	4,98± 3.21^{a}	13,63± 2.01^{a}	22,88± 3.85^{ab}	1,2±0.10^{b}
2	1,23± 0.18^{a}	8,15± 0.62^{b}	18,91± 0.68^{bc}	2,17± 0.07^{a}
3	1,08± 0.03^{a}	7,62± 0.24^{b}	18,20± 0.18^{bc}	2,24 ±0.03^{a}
4	1,12± 0.03^{a}	8,19 ± 0.37^{b}	18,38± 0.17^{bc}	2,10 ± 0.05^{a}
5	1,33± 0.23^{a}	9,03± 0.84^{b}	19,42± 0.52^{bc}	2,01± 0.11^{a}
6	4,08 ± 1.49^{a}	16,10± 1.13^{a}	27,16± 1.29^{a}	1,33 ±0.01^{b}
7	1,47 ± 0.04^{a}	9,87± 0.003^{b}	21,73± 0.27^{bc}	2,05 ± 0.01^{a}
8	1,18± 0.005^{a}	7,57± 0.11^{b}	17,00± 0.11^{c}	2,08 ± 0.01^{a}
9	1,23± 0.03^{a}	8,20± 0.30^{b}	17,70± 0.11^{bc}	2,00 ± 0.04^{a}
10	1,19± 0.01^{a}	7,43± 0.15^{b}	16,07± 0.09^{c}	2,00 ± 0.02^{a}

Letras diferentes entre as colunas indicam diferença estatisticamente significativa entre as amostras produzidas ($p<0,05$).

4.11.3 Cinética de degradação do Ácido Ascórbico

Conforme demonstrado na **Figura 7**, o percentual inicial de retenção de ácido ascórbico em todas as micropartículas correspondeu a 100%. As micropartículas foram armazenadas à temperatura ambiente (22 °C) e protegidas da luz, e foram coletadas para análise em quatro tempos: t15, t30, t60 e t90 após sua produção. Contudo, a redução do percentual de ácido ascórbico nas micropartículas só foi significativo no tempo 90º dia de armazenamento.

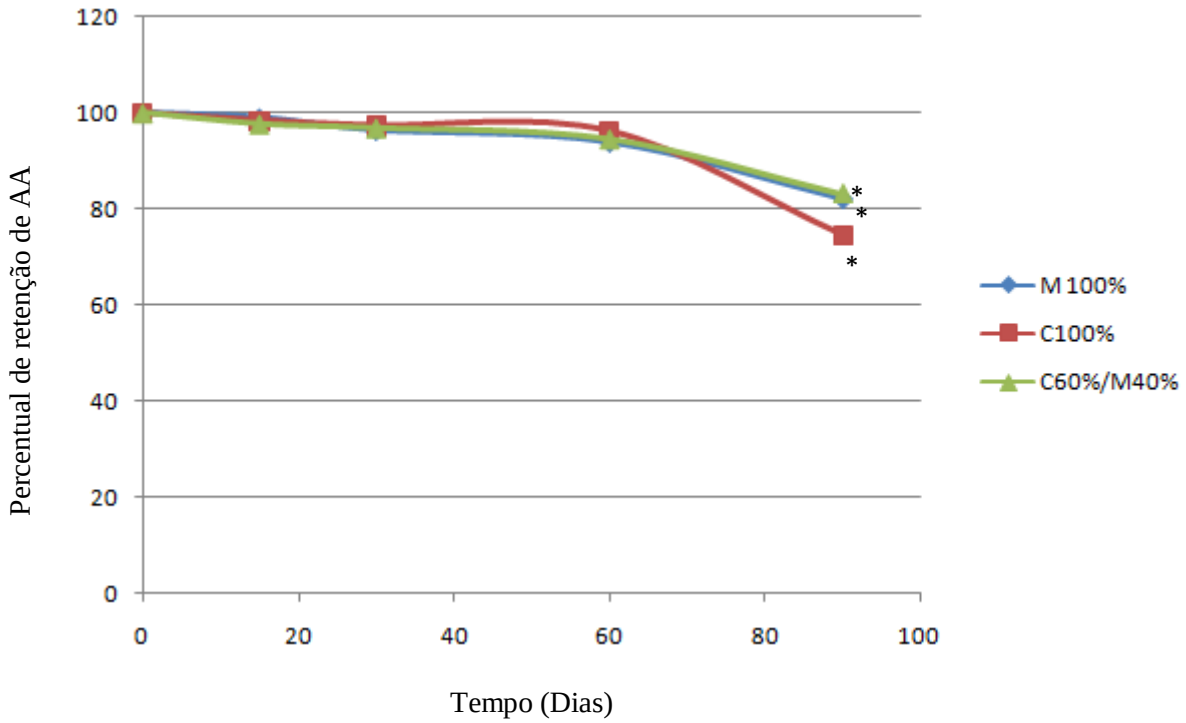


Figura 7. Percentual de retenção de ácido ascórbico nas micropartículas de suco de caju com diferentes proporções de matrizes encapsulantes, Maltodextrina (M) 100%, Capsul (C) 100% e Capsul (60%)/ Maltodextrina (40%), armazenadas por 90 dias em temperatura ambiente (22°C) e protegidas da luz. * = significamente diferente do tempo 0 ($p<0,05$).

Na **Tabela 5** são apresentados os valores dos coeficientes lineares (r^2) e das constantes de reação (*k*), obtidos após o tratamento dos dados com equações matemáticas de reação de zero, primeira e segunda ordem. O perfil de r^2 de todas as amostras indicou cinética de ordem zero para as reações de degradação do ácido ascórbico nas condições de armazenamento testadas. Em geral, para uma grande

variedade de produtos que contém ácido ascórbico, são observados reações de degradação de primeira ordem (VILLOTA E HAWKES, 1992). Ao avaliar a taxa de degradação do ácido ascórbico em sucos de laranja, Roig *et al.,* (1999) demonstraram que sucos estocados a temperaturas entre 4 e 37 °C a degradação seguia reações de zero ordem; a 76 °C seguia reação de primeira ordem, e, a 105 °C reação de segunda ordem. Aragão *et al*., (2012) analisaram a degradação da vitamina C do suco de acerola clarificado e concentrado armazenado a temperatura de 25 °C, nas concentrações de 15 °Brix e 30 °Brix. Verificaram reações de ordem zero na degradação do ácido ascórbico para as duas concentrações, constatando que a perda de vitamina C em função da concentração foi diretamente proporcional, apresentando respectivamente para 15 °Brix e 30 °Brix, um percentual de 66,9% e 42,6% em 150 dias de armazenagem e por suas meias vidas de 217 e 151 dias.

Já Yamashita *et al*., (2003) verificaram reações de ordem zero na degradação do ácido ascórbico em sucos pasteurizados de acerola armazenados à temperatura ambiente. Reações de zero ordem não ocorrem muito frequentemente em sistemas alimentares, entretanto, reações de auto-oxidação representam tipicamente reações de zero ordem, e isto ocorre quando a concentração do ativo é alta a ponto da reação ocorrer independente da concentração (VILLOTA E HAWKES, 1992).

No estudo de Martin *et al*., (1995) compararam o teor de acido ascórbico em polpa de goiaba congelada e em polpas pasteurizadas, armazenadas em temperatura ambiente, por 180 dias. Na polpa congelada, a redução do teor de ácido ascórbico foi de cerca de 12%, enquanto que nos tratamentos de pasteurização, ocorreram perdas de 70-75% de ácido ascórbico, no mesmo período de estocagem.

Lavinas *et al*., (2006) avaliaram suco de caju *in natura,* caju este proveniente no mesmo fornecedor do estudo, mantido em temperatura ambiente por 24 h, estocado sob refrigeração por sete dias e sob congelamento por 120 dias. O teor de ácido ascórbico no suco recém extraído foi de 147,29 ± 0,41 mg/100 mL e reduziu em 6,57% em temperatura ambiente. Durante a estocagem sob refrigeração e congelamento, as taxas de redução dessa vitamina foram 1,16% ao dia e 0,05% ao dia, respectivamente.

Tabela 5- Taxa de degradação do ácido ascórbico em micropartículas de suco de caju armazenadas em temperatura ambiente e protegidas da luz, com diferentes concentrações de matrizes encapsulantes: Maltodextrina (M) 100%, Capsul (C) 100% e C (60%)/M(40%).

Amostra	Ordem zero		Primeira ordem		Segunda ordem	
	K_0	r^2	k_1	r^2	k_2	r^2
M100%	0,00634	0,868	0,00673	0,855	- 0,00634	0,847
C100%	0,00828	0,774	0,00734	0,755	- 0,00828	0,738
C60%/M40%	0,00653	0,891	0,00946	0,869	-0,00653	0,842

$K_0 =$ mg%dia^{-1}; $K_1 =$ lnmg%dia^{-1}; $K_2 =$ mg%$^{-1}$dia^{-1}

A meia vida do ácido ascórbico das amostras foi calculada de acordo com a equação (4.1), utilizada para reações de ordem zero.

$t_{1/2} = (C_{0/2})/k_0$

Onde $t_{1/2}$ é a meia vida em dias e C_0 a concentração inicial de ácido ascórbico.

A meia vida do ácido ascórbico nas micropartículas de suco de caju, M 100%, C 100% e 60:40 C/M %, armazenadas em temperatura ambiente foi de 171, 160 e 266 dias, respectivamente. Verifica-se que as amostras constituídas pela mistura das matrizes encapsulantes possuem uma meia vida maior do que sua forma isolada.

O efeito da temperatura sobre a estabilidade do ácido ascórbico é largamente conhecido. Por isso era de se esperar que amostras acondicionadas à temperatura ambiente apresentassem maior taxa de degradação. Porém, foi demonstrada a eficácia das matrizes encapsulantes maltodextrina e capsul no microencapsulamento do suco de caju, onde apresentaram baixas taxas de degradação, mostrando que houve 100% de proteção do material ativo em um determinado tempo de armazenamento.

Entretanto, outros componentes como a matriz alimentar, a atividade de água, o pH e a presença de outras vitaminas são parâmetros importantes que podem

interferir na cinética de liberação de degradação de ácido ascórbico (FRIAS *et al*, 1998), podendo ser as possíveis causas para a redução do ácido ascórbico em 90 dias de armazenamento. Finotelli *et al*., (2005), ao encapsular ácido ascórbico com a mistura de duas matrizes diferentes, observou a redução de 7% de ácido ascórbico nas microcápsulas que apresentavam 20 % de ácido ascórbico, durante um período máximo de 60 dias de armazenamento à temperatura de 28°C, cuja matriz era composta por maltodrextrina e capsul, mostrando a eficácia das matrizes.

Segundo Pothakamury & Barbosa-Cánovas (1995), a superfície rugosa de micropartículas pode provocar maior aceleração na liberação do ativo encapsulado do que a superfície lisa, devido à maior área superficial da partícula. As micropartículas contituídas por maltodextrina são mais esféricas em relação às micropartículas com capsul, que possui característica invaginada. De acordo com Walton & Mumford (1999), as superfícies invaginadas apresentam áreas superficiais maiores do que as lisas, o que proporciona maior taxa de contato com meio e maior taxa de liberação dos materiais ativos microencapsulados. Durante o 90º dia de armazenamento as micropartículas compostas com C 100% apresentaram maiores perdas de ácido ascórbico, essa perda pode ser em função de sua superfície ser de forma invaginada.

Os resultados obtidos no presente estudo mostraram que a condição ambiental não promoveu grandes perdas nas micropartículas, mostrando que podem ser armazenadas em temperatura ambiente, protegidas da luz sem que ocorra alta redução do percentual de ácido ascórbico.

5. CONCLUSÕES

A proporção de matriz encapsulante/núcleo de 5:1 apresentou bons resultados no encapsulamento de suco de caju por *spray drying*. Como resultados foram apresentados micropartículas com 100% de retenção de ácido ascórbico, 100% de retenção de polifenois totais, 100% de solubilidade, além de boas propriedades físicas e bom rendimento, apresentando grande potencial de utilização e por ser de fácil transporte o que facilita sua exportação.

O microencapsulamento de suco de caju *in natura*, usando como matrizes encapsulantes maltodextrina, capsul ou maltodextrina/capsul, apresentaram resultados bastante satisfatórios. Os melhores resultados foram favorecidos pelos tratamentos com maiores proporções de sólidos totais (15%) e pela mistura das matrizes encapsulantes, maltodextrina e capsul. Quando comparada à utilização da matriz encapsulante de forma isolada, o capsul foi a matriz encapsulante que apresentou os melhores resultados em todas as análises em relação à maltodextrina. O capsul contribuiu para um melhor rendimento, melhor retenção de ácido ascórbico e polifenois, menor tamanho de partícula, entretanto, contribuiu para micropartículas invaginadas.

Apresentou grande potencial de utilização as micropartículas dos tratamentos 8 (50:50 % M:C, em 15 % de ST) e 10 (60:40% C:M, em 15% de ST), por apresentarem os melhores resultados no estudo e por não apresentarem diferenças significativas em relação à retenção de ácido ascórbico, polifenois totais, boas propriedades físicas e rendimento, mostrando potencial no desenvolvimento de produtos especiais com papel relevante na saúde humana.

As micropartículas compostas com maltodextrina e capsul apresentaram os melhores resultados, sugere-se que tenha ocorrido um sinergismo entre as matrizes utilizadas. Sendo o capsul um amido modificado pela presença de um componente lipofílico, sendo hidrofílico/hidrofóbico e a maltodextrina possuir característica hidrofílica.

As micropartículas apresentaram boas propriedades físicas, não foram observados fissuras e poros abertos. No estudo de estabilidade de 90 dias, o suco microencapsulado apresentou baixa perda de ácido ascórbico.

É o primeiro trabalho que utiliza maltodextrina e capsul no encapsulamento de suco de caju. Sendo rico em vitaminas e substâncias antioxidantes, o suco de caju

microencapsulado pode ser empregado na indústria alimentícia para produção de alimentos funcionais e para fins especiais, mostrando potencial no desenvolvimento de produtos com relevância a saúde humana.

Demonstramos neste trabalho um melhoramento no processo de encapsulamento, mostrando micropartículas capacidade antioxaidandente, visando uma produto funcional. Como perspectivas para este estudo, como continuação do presente trabalho, a verificação de sua funcionalidade *in vivo* sendo importante avaliar se o consumo desse produto realmente vai conferir benefícios em relação ao sistema de defesa antioxidante.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSUNÇÃO, R. B.; MERCADANTE, A. Z. Carotenoids and ascorbic acid from cashew apple (Anacardium occidentale L.): variety and geographic effects. Food Chemistry, v. 81, p. 495-502, 2003.

ABURTO, L. C.; TAVARES, D. Q.; MARTUCCI, E. T. Microencapsulação de óleo essencial de laranja. Ciência e Tecnologia de Alimentos, v. 18, n. 1, p. 1-6, 1998.

AGUILERA, J.M., STANLEY, D.W. Microstructural Principles of Food Processing and Engineering. Elsevier Applied Science: Cambridge, p. 343, 1990.

AHN, J., KIM, Y., SEO, E., CHOI, Y., KIM, H. Antioxidant effect of natural plant extracts on the microencapsulated high oleic sunflower oil. Journal of Food Engineering, v. 84, p. 327-334, 2008.

ANANDARAMAN, S.; REINECCIUS, G. A. Stability of encapsulated orange peel oil. Food Technology, v. 40, p. 88-93, 1986.

ARAGÃO, A, O.; SOUZA FILHO, M, S.; HILUY FILHO, J.; HAPONIK, C, A, V.; CARVALHO, J, M. Efeito da concentração na cinética de degradação da vitamina C do suco de acerola clarificado e concentrado durante a armazenagem. Embrapa Agroindústria Tropical, p 10, 2002.

ARANCIBIA, C. et al. Flavor release and sensory characteristics of o/w emulsions: influence of composition, microstructure and rheological behavior. Food Research International, Barking, v. 44, n. 6, p. 1632-1641, 2011.

BASTOS, D. S. Microencapsulamento de sucos de caju (Anacardium occidentale, L.) em complexos de quitosana e isolado de proteínas do soro do leite comercial: obtenção, caracterização e estudo de estabilidade. Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos) – Instituto de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

BARBOSA-CÁNOVAS, G.V., JULIANO, P. Physical and chemical properties of food powders. In: Onwulata, C. editor. Encapsulated and powdered foods. Boca Raton: Taylor & Francis; 2005. p. 39-71.

BHANDARI, B.R., DATTA, N. & HOWES, T. (1997). Problems associated with spray drying of sugar-rich foods. Drying Technology, 15, 671– 684.

BLACK, H. S. Mechanisms of pro- and antioxidation. Journal of Nutriton, v. 134, p. 3169-3170, 2004.

BRAVO L. Polyphenols: chemistry, dietary sources, metabolism, and nutritional significance Nutrition Reviews, v. 56, p. 317–333, 1998.

BRITO, E. S., ARAUJOr, M. C. P., LIN, L., & HARNLY, J. Determination of the flavonoid components of cashew Apple (Anacardium occidentale L.) by LC–DAD–ESI/MS. Food Chemistry, 105, 1112–1118, 2007.

BUFFO, R.; REINECCIUS, G. A. Optimization of gum acacia/modified starches/maltodextrin blends for the spray drying of flavours. Perfumer and Flavorist, Wheaton, v. 25, n. 1, p. 37-49, 2000.

CANO-CHAUCA, M. et al. Effect of the carriers on the microstructure of mango powder spray drying and its functional characterization. Innovative Food Science and Emerging Technologies, v. 6, n. 1, p. 420-428, 2005.

CARR, A. C.; FREI, B. Toward a new recommended dietary allowance for vitamin C based on antioxidant and health effects in humans. American Journal of Clinical Nutrition, v. 69, p. 1086-1107, 1999.

CERQUEIRA, F. M.; MEDEIROS, M. H. G.; AUGUSTO, O. Antioxidantes dietéticos: Controvérsias e perspectivas. Química Nova, v. 30, n. 2, p. 441-449, 2007.

CHRONAKIS, I. S. On the molecular characteristics, compositional properties, and structural-functional mechanisms of maltodextrinas: a review. Critical Reviews in Food Science, Boca Raton, v. 38, n. 7, p. 599-637, 1998.

CRISÓSTOMO, L. A.; PIMENTEL, C. R. M.; MIRANDA, F. R.; OLIVEIRA, V. H. Cajueiro- Anão Precoce. In: CRISÓSTOMO, L. A.; NAUMOV, A. (Org). Adubando para alta produtividade e qualidade: Fruteiras tropicais do Brasil. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2009. p. 50-69.

DAVEY, M. W.; VAN MONTAGU, M.; INZE, D.; SANMARTIN, M.; KANELLIS, A.; SMIRNOFF, N.; BENZIE, I. J. J.; STRAIN, J. J.; FAVELL, D.; FLETCHER, J. Plant L-ascorbic acid: chemistry, function, metabolism, bioavailability and effects of processing. Journal of the Science of Food and Agriculture, v. 80, p. 825-860, 2000.

DOLINSKY, A., MALETSKAYA, K. & SNEZHKIN, Y. (2000). Fruit and vegetable powders production technology on the bases of spray and convective drying methods. Drying Technology, 18, 747–758.

DRUSCH, S., SERFERT, Y., SCAMPICCHIO, M., SCHIMIDT-HANSBERG, B., SCHWARZ, K. Impact of physiochemical characteristics on the oxidative stability of fish oil microencapsulated by spray-drying. Journal of Agricultural and Food Chemistry, v. 55, p. 11044-11051, 2007.

DZIEZAC, J. D. Microencapsulation and encapsulated ingredients. Food Technology. 1988 Apr; 42(4): 136-151.

EASTMAN, J.E., MOORE, C.O. Cold water soluble granular starch for gelled food composition. US Patent 4 465 702, 1984.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Cultivo do cajueiro (2003). Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Caju/CultivodoCajueiro/index.htm>. Acesso em: 13 jun. 2012.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Revista Guia da Terra, 3, 17, 1999.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Caju: 500 perguntas, 500 respostas, 1ª ed. Ceará: Embrapa, p. 220, 1998.

FAO – Food and Agriculture Organization. (2008). Disponível em: <http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor>. Acesso em: 15 mar. 2012.

FAO. (2009) FAOSTAT statistical databases for agriculture. <http://faostat.fao.org/faostat/collections?version=ext&hasbulk=0&subset=agriculture> Accessed 27.09.2013.

FENNEMA, O. R. Química de los alimentos, 4ª ed. Porto Alegre: Artmed Editora S.A., p. 900, 2010.

FERREIRA, A. L. A.; MATSUBARA, L. S. Radicais livres: conceitos, doenças relacionadas, sistema de defesa e estresse oxidativo. Revista da Associação Médica Brasileira, v. 43, n. 1, p. 61-68, 1997.

FINOTELLI, V, P; LEÃO, R, M, H. Microencapsulamento of ascorbic acid in matodextrin and capsul using spray-drying. Mercosur Congress on Chemical Engineering, 2005.

FORMAN, H. J.; TORRES, M.; FUKUTO, J. Redox signaling. Molecular and Cellular Biochemistry, v. 234/235, p. 49-62, 2002.

FRANCIS, F. J. Food colorants: anthocyanins. Critical review of food science and nutrition, v.28, n. 04, p. 273-314, 1989.

FRIAS, J, M.; OLIVEIRA, J, C.; CUNHA, L, M.; OLIVEIRA, F, A. Application of D-optimal design for determination of the influence of water content on the thermal

degradation kinetics of ascorbic acid at low water contents. Journal Of Food Engineering, v. 38, n. 1, p. 69-85, 1998.

GOUBET, I.; LE QUERE, J. L.; VOILLEY, A. Retention of aroma compounds by carbohydrates: influence of their physicochemical characteristics and of their physical state. Journal of Agricultural and Food Chemistry, Easton, v. 48, n. 5, p. 1981-1990, 1998.

GOUIN, S. Microencapsulation: Industrial appraisal of existing technologies and trends. Trends in Food Science & Technology, v. **15, n. 7, p.**330–347, 2004.

HALLIWELL, B.; RAFTER, J.; JENNER, A. Health promotion by flavonoids, tocopherols, tocotrienols, and other phenols: direct or indirect effects? Antioxidant or not? American Journal of Clinical Nutrition, v. 81, p. 268-276, 2005.

HEAD, K. A. Ascorbic acid in the prevention and treatment of cancer. Alternative Medicine Review, v. 3, p. 174-186, 1998.

KAROU, D.; DICKO, M. H.; SIMPORE, J.; TRAORE, A. S. Antioxidant and antibacterial activities of polyphenols from ethnomedicinal plants of Burkina Faso. African Journal of Biochemistry, v. 4, p. 823-828, 2005.

KING, W.; TURBIANO, P.; PERRY, P. Food Product development, v. 10, p. 56-57, 1976.

KENNEDY, J. F.; KNILL, C. J.; TAYLOR, D. W. Maltodextrins. In: KEARSLEY, M. W.; DZIEDZIC, S. Z. (Ed.). Handbook of starch hydrolysis products and their derivatives. London: Blackie Academic & Professional, p. 65-82, 1995.

KRISHNAN, S.; BHOSALE, R.; SINGHAL, R. S. Microencapsulation of cardamom oleoresin: evaluation of blends of gum arabic, maltodextrin and a modified starch as wall materials. Carbohydrate Polymers, Barking, v. 61, n. 1, p. 95-102, 2005.

KLINKERSORN, U. et al. Stability and rheology of corn oil-in-water emulsions containing maltodextrin. Food Research International, Barking, v. 37, n. 9, p. 851-859, 2004.

INSTITUTO CAJU NORDESTE. (2010). Disponível em: <http://www.cajunordeste.org.br/historia.asp>. Acesso em: 23 mar. 2013.

IOM – Institute of Medicine. Food and Nutrition Board, Institute of Medicine, National Academy of Sciences, Panel on Dietary Antioxidants and Related Compounds, Subcommittees on Upper Reference Levels of Nutrients and Interpretation and Uses of Dietary Reference Intakes, and the Standing Committee on the Scientific Evaluation of Dietary Reference Intakes. Dietary Reference Intakes for Vitamin C, Vitamin E, Selenium, and Carotenoids. National Academy Press: Washington, 2000.

JAFARI, S.M., ASSADPOOR, E., BHANDARI, B., HE, Y. Nano-particle encapsulation of fish oil by spray drying. Food Research International, v. 41, p. 172-183, 2008.

JAYA, S.; Das, H. (2004), Effect of maltodextrin, glycerol monostearate and tricalcium
phosphate onvacuum dried powder properties. Journal of Food Engineering, 63, 125-134.

LAVINAS, F. C.; ALMEIDA, N. C.; MIGUEL, M. A. L.; LOPES, M. L. M.; VALENTE-MESQUITA, V. L. Estudo da estabilidade química e microbiológica do suco de caju in natura armazenado em diferentes condições de estocagem. Ciência e Tecnologia de Alimentos, v. 26, n. 4, p. 875-883, 2006.

LAUTIÉ, E., DORNIER, M., DE SOUZA FILHO, M., & REYNES, M. Les produits del'anacardier: caractéristiques, voies de valorisation et marchés. Fruits, 56, 235–248, 2001.

LESSCHAEVEL I., NOBLE A.C., POLYPHENOLSS: factors influencing their sensory properties and their effects on foods and beverage preferences. Am. J. Clin. Nutr., 2005, 81 (suppl), 330S–335S.

LEHNINGER, A. L. Vitaminas y coenzimas. In: LEHNINGER, A. L. (Ed). Bioquímica. Las bases moleculares de la estructura y función celular, 2ª ed. Barcelona: Ediciones Omega, S.A., p. 341-70, 1995.

LEITE, L. A S., PAULA-PESSOA, P. F.A. Aspectos sócioeconômicos. In L. M. Barros (Ed.), Caju: produção, aspectos técnicos . Brasília: Embrapa Agroindústria Tropical, Informação Tecnológica, pp. 15–17, 2002.

LESKOVÁ, E.; KUBIKOVA, J.; KAVACIKOVA, E.; KOSICKA, M.; PORUBSKA, J.; HOLCIKOVA, K. Vitamin losses: retention during heat treatment and continual changes expressed by mathematical models. Journal of Food Composition and Analysis, v. 19, p. 252-276, 2006.

LIMA, A. C.; Obtenção e caracterização dos principais produtos do caju, Sistema Eletrônico de Revistas (SER) da UFPR, v. 22, n. 1, 2004.

LIU, R. H. Health benefits of fruit and vegetables are from additive and synergistic combinations of phytochemicals. American Journal of Clinical Nutrition, v. 78, p. 517-520, 2003.

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

MANACH, C.; SCALBERT, A.; MORAND, C.; RÉMÉSY, C.; JIMENEZ, L. Polyphenols: food sources and bioavailability. American Journal of Clinical Nutriton, v. 79, p. 727-747, 2004.

MARTIN, Z.; CIA, G.; TEIXEIRA, C. G.; ANGELUCCI, E.; LEITÃO, M. F. F.; BLEINROTH, E. W.; TOSELO, Y. Industrialização da polpa de goiaba da variedade vermelha. Coletân. Instit. Tecnol. Alim, v. 6, p.11-36, 1995.

MAIA, G.A.; SOUSA – FILHO, M.S.M.; FIGUEIREDO, R. W.; BRASIL, I.M. Caracterização química de pedúnculos de diferentes clones de cajueiro anão precoce (Anacardium occidentale L.). Revista Ciência Agronômica, v.35, p.272-278, 2004.

MCCLEMENTS, D., LESMES, U. Structure-function relationships to guide rational design and fabrication of particulate food delivery systems. Trends Food Sci Technol, v. 20, p. 448-57, 2009

MESQUITA, P. C.; MAIA, G. A.; SOUZA FILHO, M. S. M.; NASSU, R. T. Estabilidade microbiológica, físico-química e sensorial de pedúnculos de caju (Anacardium occidentale L.) processados por métodos combinados. Ciência e Tecnologia de Alimentos, v. 23, p. 366-369, 2003.

MICHOUDJEHOUN-MESTRES, L.; SOUQUET, J. M.; FULCRAND, H.; BOUCHUT, C.; REYNES, M.; BRILLOUETrillouet, J. M. Monomeric phenols of cashew apple (Anacardium occidentale L.). Food Chemistry, v. 112, p. 851-857, 2009.

MOSKAUG, J. Ø.; CARLSEN, H.; MYHRSTAD, M. C. W.; BLOMHOFF, R. Polyphenols and glutathione synthesis regulation. American Journal of Clinical Nutrition, v. 81, p. 277-283, 2005.

NACZK, M.; SHAHIDI, F. Phenolics in cereals, fruits and vegetables: occurrence, extraction and analysis. Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis, v. 41, p. 1523-1542, 2006.

OLIVEIRA, M. A.; MAIA, G,A.; FIGUEIREDO, R, M.; SOUZA, A, C, R.; BRITO, E, S. & AZEVEDO, H, M, C. Addition of cashew tree gum to maltodextrin-based carriers for spray drying of cashew apple juice. International Journal of Food Science and Technology, v. 44, p. 641–645, 2009.

PAIVA, F. F. A.; GARRUTI, D. S.; SILVA NETO, R. M. Aproveitamento Industrial do caju. Fortaleza: EMBRAPA – Agroindústria Tropical, p. 85, 2000.

PAULO, M. G.; MARQUES, H. M. C.; MORAIS, J. A. G.; ALMEIDA, A. J. An isocratic LC method for the simultaneous determination of vitamin A, C, E and β-carotene. Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis, v. 21, p. 399-406, 1999.

PIERUCCI, A. P. T. R., ANDRADE, L. R., BAPTISTA, E. B., VOLPATO, N. M., ROCHA-LEÃO, M H. M. New microencapsulation system for ascorbic acid using pea protein concentrate as coat protector. Journal of Microencapsulation, v. 23, n. 6, p. 654-662, 2006.

PHOTHAKAMURY, U.R.; BARBOSA-CÁNOVAS, G.V. Fundamental aspects of controlled in foods. Trends in Food Science & Technology. Washington D.C, v.6, p. 397-406, 1995.

QUEIROZ, C.; MOREIRA, C. F. F.; LAVINAS, F. C.; LOPES, M. L. M.; FIALHO, E.; VALENTE-MESQUITA, V. L. Effect of high hydrostatic pressure on phenolic compounds, ascorbic acid and antioxidant activity in cashew apple juice. High Pressure Research, v. 30, n. 4, p. 507-513, 2010.

REINECCIUS, G. A. Carbohydrates for flavor encapsulation. Food Technology**,** Chicago, p. 144-146, 1991.

REINECCIUS, G.A. Spray-drying of food flavors. In G. A. Reineccius & S. J. Risch (Eds.), Flavor encapsulation, Washington, DC: American Chemical Society, p. 55-66, 1988.

Rodrigues (2004), também verificou resultados semelhantes para extrato concentrado de café microencapsulado com maltodextrina, goma arábica e goma do cajueiro.

ROIG, M. G.; BELLO, J.F.; RIVERA, Z. S.; KENNEDY, J. F. Studies on the occurrence of non-enzymatic browning during storage of citrus juice. Food Res. Int. v. 32, p. 609-619, 1999.

ROOS, Y.H. (1995). Glass transition-related physicochemical changes in foods. Food Technology, 49, 97–102.

RUAN, H. et al. Preparation and properties of octenyl succinic anhydride modified potato starch. Food Chemistry, London, v. 114, n. 1, p. 81-86, 2009.

SAÉNZ C, TAPIA S, CHÁVEZ J & ROBERT P. Microencapsulation by spray drying of bioactive compounds from cactus pear (*Opuntia ficus-indica*). Food Chemistry, V. 114, p. 616-622, 2009.

SAGIN, F. G.; SOZMEN, E. Y. Anti-inflammatory effects of dietary antioxidants. Current Medicinal Chemistry, v. 3, p. 19-30, 2004.

SANGUANSRI, P., AUGUSTIN, M. A. Nanoscale materials development – a food industry perspective. Trends Food Sci. Tech, v. 17, n. 10, p. 547-556, 2006.

SANGUANSRI, P., AUGUSTIN, M. A. Microencapsulation in functional food product development. In Smith, J. & Charter, E. (eds.), Functional Food Product Development. Blackwell Publishing Ltd, 2010.

SCALBERT, A.; JOHNSON, I. T.; SALTMARSH, M. Polyphenols: antioxidants and beyond. American Journal of Clinical Nutrition, v. 81, p. 215-217, 2005.

SCALBERT, A.; MANACH, C.; MORAND, C.; RÉMÉSY, C.; JIMÉNEZ, L. Dietary polyphenols and the prevention of diseases. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, v. 45, n. 4, p. 287-306, 2005.

SHAHIDI, F.; HAN, X. Q. Encapsulation of food ingredients. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, Cleveland, v. 33, n. 6, p. 501-547, Sept. 1993.

SHEU, T.Y., ROSENBERG, M. Microstructure of microcapsules consisting of whey proteins and carbohydrates. Journal of Food Science, v. 63, n. 3, p. 491-494, 1998.

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

TABELA BRASILEIRA DE COMPOSIÇÃO DE (TACO). 4ª edição revisada e ampliada. Unicamp, 2005.

TASSARA, H.; SILVA, S. Especiais, Frutas do Brasil, Caju (2002). Disponível em: http://www.bibvirt.futuro.usp.br. Acesso em: 13 jun 2013.

TONON, R,V. Secagem por atomização do suco de açaí: influência das variáveis de processo, qualidade e estabilidade do produto, Universidade Estadual de Campinas, 2009.

VALDÉS, F. Vitamina C. Actas Dermo-Sifiliográficas, v. 97, n. 9, p. 557-568, 2006.

VENEREO, J. R. Daño oxidativo, radicales libres y antioxidantes. Revista Cubana de Medicina Militar, v. 31, p. 126-133, 2002.

VILLOTA, R.; HAWKES, J.G. Reaction kinetics in food systems. In: HELDMAN, D.R.; LUND, D.B. (Ed.). Handbook of food engineering. New York: M.Dekker, p.39-144, 1992.

WANG, X. et al. Preparation and characterisation of octenyl succinate starch as a delivery carrier for bioactive food components. Food Chemistry, London, v. 126, n. 3, p. 1218-1225, 2011.

WALTON, D. E.; MUMFORD, C. J. The morphology of spray-dried particles-the effect of process variables upon the morphology of spraydried particles. Transactions Institute of Chemical Engineering, v. 77, p. 442-460, 1999.

WESTING, L.L.; REINECCIUS, G.A.; CAPORASO, F. Shelf life of orange oil. Effects of encapsulation by spray) drying, extrusion, and molecular inclusion. In Risch, S.J.;

Reineccius, G.A. (eds.), Flavor encapsulation.Washington DC. ACS Symposium Series 370. American Chemical Society, v. 12, p. 110-121, 1988.

WHEELER, D. S.; CATRAVAS, J. D.; ODOMS, K.; DENENBERG, A.; MALHORTA, V.; WONG, H. R. Epigallocatechin-3-gallate, a green tea-derived polyphenol, inhibits IL-1 b-dependent proinflammatory signal transduction in cultured respiratory epithelial cells. Journal of Nutrition, v. 134, p. 1039-1044, 2004.

WILLIAMS, M. J.; SUTHERLAND, W. H.; WHELAN, A. P.; McCORMICK, M. P.; DE JONG, S. A. Acute effect of drinking red and white wines on circulating levels of inflammation-sensitive molecules in men with coronary artery disease. Metabolism, v. 53, p. 318-323, 2004.

YOSHII, H., SOOTTITANTAWAT, A., LIU, X.D., ATARASHI, T., FURUTA, T., AISHIMA, S., OHGAWARA, M., LINKO, P. Flavor release from spray-dried maltodextrin/gum arabic or soy matrices as a function of storage relative humidity. Innovative Food Science and Emerging Technologies, v. 2, p 55–61, 2001.