



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DOMÉSTICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE  
ALIMENTOS



**ESTUDO DA ESTABILIDADE DO SUCO DE CIRIGUELA  
(*Spondias purpurea* L.) ATOMIZADO**

NATHALIA CAVALCANTI DOS SANTOS

Recife  
2016

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DOMÉSTICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE  
ALIMENTOS

NATHALIA CAVALCANTI DOS SANTOS

**ESTUDO DA ESTABILIDADE DO SUCO DE CIRIGUELA  
(*Spondias purpurea* L.) ATOMIZADO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como requisito para obtenção do Grau de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

ORIENTADOR/A: MARIA INÊS SUCUPIRA MACIEL

CO-ORIENTADOR: JOSÉ SEVERINO DE LIRA JUNIOR

Recife  
2016

Ficha catalográfica

S237e Santos, Nathalia Cavalcanti dos  
Estudo da estabilidade do suco de ciriguela (*Spondias purpurea* L.) atomizado / Nathalia Cavalcanti dos Santos. – Recife, 2016.  
73 f. : il.

Orientadora: Maria Inês Sucupira Maciel.  
Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Ciências Domésticas, Recife, 2016.  
Inclui referências e apêndice(s).

1. Atomização 2. Armazenamento 3. Transição vítrea  
4. Isotermas de sorção I. Maciel, Maria Inês Sucupira, orientadora II. Título

CDD 664

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DOMÉSTICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE  
ALIMENTOS

**ESTUDO DA ESTABILIDADE DO SUCO DE CIRIGUELA  
(*Spondias purpurea* L.) ATOMIZADO**

**Por Nathalia Cavalcanti dos Santos**

Esta dissertação foi julgada para obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos e aprovada em \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_ pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimento em sua forma final.

Banca Examinadora:

---

Profa Dra. Enayde de Almeida Melo  
Universidade Federal Rural de Pernambuco

---

Profa Dra. Vera Lúcia Arroxelas Galvão de Lima  
Universidade Federal Rural de Pernambuco

---

Profa Dra. Yêda Medeiros Bastos de Almeida  
Universidade Federal de Pernambuco

Dedico ao Preto Velho e a todos os pretos e pretas novos e velhos que estiveram comigo nesta caminhada. Dedico ainda a todos os seres que me acompanharam nesta trajetória, em especial aos seres do amor, da liberdade e da compaixão. Que todo e qualquer mérito gerado durante a produção desta dissertação possa se expandir e beneficiar todos os seres.

## AGRADECIMENTOS

Escrevo estes agradecimentos, por reconhecer a importância de cada um dos que estiveram presentes durante a produção desta dissertação.

Ao amor que me permitiu existir, materializado nas formas de Maria José Gomes Cavalcanti dos Santos e José Severino dos Santos.

Ao meu amor-presente, materializado na forma de Silas Carlos Rocha da Silva.

Ao amor fraterno materializado na forma de Wagner e Heloisa.

À minha irmã de alma gêmea, materializada na forma de Ana Carolina dos Santos Costa.

Ao NEIMFA e todos que fazem o NEIMFA, por todo aprendizado e crescimento espiritual.

Aos Mestres do NEIMFA que, mesmo sem saber ler ou escrever, são capazes de educar.

A todos os educadores que passaram por minha vida, em especial aos que educam pelo exemplo.

Aos companheiros de pesquisa, Michelle, Marcony, Rose, Williams, Larry, Mary, Jaque, Érika, Regina, Carla, Robson, Jokderlea, por me aturarem nos dias de “bom” humor, pela paciência e assistência.

À orientadora, Maria Inês Sucupira Maciel, pela orientação e aprendizado.

À FACEPE pelo financiamento.

À UFRPE e ao PGCTA.

À UFPB, em especial ao LACOM.

E a todos os seres que estiveram presentes durante estes dois anos, e possibilitaram esta conquista.

“Tudo o que a gente faz, o trabalho, a ciência, a política, a arte, são *meios* para o grande *fim* que é o jardim. Saber por saber, saber que não sonha com o jardim, que só deseja virar tese ou artigo em revista internacional, é manifestação de loucura”.

Rubem Alves (1933-2014)

## RESUMO

A ciriguela (*Spondias purpurea* L.) apresenta uma excelente qualidade sensorial, bastante consumida no nordeste brasileiro. Por apresentar um curto período de colheita e alta perecibilidade, esta fruta apresenta ótimas perspectivas comerciais por meio da aplicação de técnicas de processamento, como a secagem por atomização. A secagem por atomização visa a produção de um produto em pó mais estável de modo a estender sua vida de prateleira. O conhecimento da temperatura de transição vítrea ( $T_g$ ) e estudo das isotermas de sorção são bastante utilizados para avaliar a estabilidade do pó durante o armazenamento e controlar a qualidade do produto no processo de secagem por atomização. Esta dissertação tem como objetivo estudar a estabilidade do suco de ciriguela atomizado armazenado por 90 dias em três atividades de água ( $a_w$  0,1, 0,2 e 0,3) na temperatura de 25°C. Análises periódicas de atividade de água, umidade, ácido ascórbico, carotenóides totais, fenólicos totais, ensaios da atividade antioxidante, cor, determinação da temperatura de transição vítrea foram realizadas nos tempos inicial, após 30, 60 e 90 dias. Além disso, a determinação das isotermas de sorção foi realizada. Os maiores valores para atividade de água e umidade não ultrapassaram 0,37 e 5,92%, respectivamente, considerados estáveis e seguros para alimentos secos. Ao final do período de armazenamento, os maiores teores de compostos bioativos (ácido ascórbico, carotenóides e fenólicos totais), a menor diferença de cor e maior temperatura de transição vítrea foram obtidos sob condições de armazenamento em  $a_w$  0,2, indicando que esta condição proporcionou maior estabilidade para o suco de ciriguela atomizado. Para a determinação das isotermas, a modelagem GAB apresentou melhor ajuste aos dados, e a curva obtida foi do tipo III, indicando que o suco de ciriguela atomizado é caracterizado como uma amostra amorfa, rica em compostos hidrofílicos. O armazenamento do suco de ciriguela atomizado em  $a_w$  0,2 à 25°C mantém as características estudadas mais estáveis por 90 dias.

**Palavras-chave:** atomização; fitoquímicos bioativos; armazenamento; transição vítrea; isotermas de sorção.



## ABSTRACT

The red mombin fruit (*Spondias purpurea* L.) present an excellent sensory quality, being widely consumed in northeastern Brazil. By presenting a short period of harvest and high perishability, this fruit has great commercial prospects by applying processing techniques such as spray drying. Spray drying is aimed at producing a more stable powdered product in order to extend their shelf life. The knowledge of the glass transition temperature ( $T_g$ ) and the study of the sorption isotherms are often used to assess the stability of the powder during storage and control the quality of product in the spray drying process. This dissertation aims to study the stability of the atomized red mombin fruit juice stored for 90 days in three activity water ( $a_w$  0.1, 0.2 and 0.3) at 25 °C. Periodic analyzes of water activity, moisture, ascorbic acid, carotenoids, phenolic compounds, antioxidant activity assays, determination of color, determination of the glass transition temperature were performed in the early days, after 30, 60 and 90 days. Furthermore, the determination of the sorption isotherms was carried out. The highest values for water activity and humidity did not exceed 0.37 and 5.92%, respectively, considered stable and safe for dry food. At the end of the storage period, the higher levels of bioactive compounds (ascorbic acid, carotenoids and phenolic), the smallest color difference and higher glass transition temperature were obtained under storage conditions  $a_w$  0.2, indicating that this condition provided the highest stability for the atomized red mombin fruit juice. For the determination of the sorption isotherms, the GAB modeling showed a better fit to the data, and the obtained curve was type III, indicating that the red mombin fruit juice is atomized characterized as a amorphous sample rich in hydrophilic compounds. The storage atomized red mombin fruit juice in  $a_w$  0.2 at 25°C maintains the characteristics studied more stable for 90 days.

**Keywords:** atomization; phytochemical bioactive; storage; glass transition; sorption isotherms

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura I</b> – Ciriguela.....	17
<b>Figura II</b> – Estrutura química do ácido ascórbico.....	21
<b>Figura III</b> – Estrutura química do $\beta$ -caroteno e licopeno.....	23
<b>Figura IV</b> – Estrutura química do ácido gálico.....	25
<b>Figura V</b> – Atomizador.....	27
<b>Figura VI</b> – Isoterma de sorção.....	34
<b>Figura 1</b> – Efeito do tempo de armazenamento (30, 60, 90 dias) e da atividade de água (0,1, 0,2, 0,3) na atividade de água (aw) do suco de ciriguela atomizado armazenado a 25°C .....	53
<b>Figura 2</b> – Efeito do tempo de armazenamento (30, 60, 90 dias) e da atividade de água (0,1, 0,2, 0,3) na umidade do suco de ciriguela atomizado armazenado a 25°C.....	54
<b>Figura 3</b> – Efeito do tempo de armazenamento (30, 60, 90 dias) e da atividade de água (0,1, 0,2, 0,3) no teor de ácido ascórbico (mg AA/100g massa seca) do suco de ciriguela atomizado armazenado a 25°C .....	55
<b>Figura 4</b> – Efeito do tempo de armazenamento (30, 60, 90 dias) e da atividade de água (0,1, 0,2, 0,3) no teor de carotenóides ( $\mu$ g $\beta$ -caroteno/g massa seca) do suco de ciriguela atomizado armazenado a 25°C .....	57
<b>Figura 5</b> – Efeito do tempo de armazenamento (30, 60, 90 dias) e da atividade de água (0,1, 0,2, 0,3) na diferença de cor ( $\Delta E$ ) do suco de ciriguela atomizado armazenado a 25°C .....	59
<b>Figura 6</b> – Efeito do tempo de armazenamento (30, 60, 90 dias) e da atividade de água (0,1, 0,2, 0,3) no teor de compostos fenólicos (mg EAG/100g massa seca) do suco de ciriguela atomizado armazenado a 25°C .....	61
<b>Figura 7</b> – Efeito do tempo de armazenamento (30, 60, 90 dias) e da atividade de água (0,1, 0,2, 0,3) na capacidade de sequestro do radical ABTS $\cdot^+$ (%) do suco de ciriguela atomizado armazenado a 25°C .....	62
<b>Figura 8</b> – Efeito do tempo de armazenamento (30, 60, 90 dias) e da atividade de água (0,1, 0,2, 0,3) na temperatura de transição vítrea (°C) do suco de ciriguela atomizado armazenado a 25°C .....	64
<b>Figura 9</b> – Isotermas de sorção do suco de ciriguela atomizado a 25°C usando a modelagem GAB.....	66
<b>Figura 10</b> – Aparência física do suco de ciriguela atomizado submetido a diferentes umidades relativas .....	66
<b>Figura 11</b> - Termogramas do suco de ciriguela atomizado produzido com maltodextrina 10DE no tempo inicial (A) e armazenados por 90 dias em aw 0,1 (B), 0,2 (C) e 0,3 (D).....	72

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela I</b> – Composição química da polpa de ciriguela.....	18
<b>Tabela 1</b> – Umidade relativa das soluções saturadas de sais selecionadas a 25°C.....	51
<b>Tabela 2</b> – Modelos matemáticos usados para descrever as isotermas de sorção.....	51
<b>Tabela 3</b> – Parâmetros de cor ( $L^*$ , $a^*$ , $b^*$ ) do suco de ciriguela atomizado armazenado por 90 dias a 25 °C .....	58
<b>Tabela 4</b> – Parâmetros estimados dos modelos GAB, Halsey e Oswin para o suco de ciriguela atomizado.....	65
<b>Tabela 5</b> – Respostas da caracterização físico-química e atividade antioxidante do suco de ciriguela atomizado armazenado por 90 dias em três aw (0,1, 0,2 e 0,3) à 25°C.....	66

## LISTA DE ABREVIATURAS

AA – Ácido ascórbico

aw – Atividade de água

DSC – Calorimetria exploratória diferencial

GAE – Equivalência de ácido gálico

TACO – Tabela Brasileira de Composição de Alimentos

T<sub>g</sub> – Temperatura de transição vítrea

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	12
PROBLEMA DE PESQUISA E HIPÓTESE.....	14
REVISÃO DE LITERATURA.....	15
1. Importância das frutas.....	15
2. Ciriguela .....	16
2.1 Antioxidantes .....	20
2.2 Ácido ascórbico.....	20
2.3 Carotenóides .....	22
2.4 Compostos fenólicos.....	24
3. Secagem por atomização .....	27
3.1 Microencapsulação .....	30
3.2 Agentes encapsulantes.....	31
3.3 Maltodextrina .....	31
4. Estabilidade de pós produzidos por meio da secagem por atomização .....	32
4.1 Isotermas de sorção.....	33
4.2 Temperatura de transição vítrea.....	35
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	38
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	44
ARTIGO – ESTUDO DA ESTABILIDADE DO SUCO DE CIRIGUELA ATOMIZADO.....	44
RESUMO.....	44
ABSTRACT .....	45
1. Introdução .....	46
2. Materiais e métodos .....	47
2.1 Obtenção e preparo da polpa de ciriguela.....	47
2.2 Secagem por atomização do suco de ciriguela.....	47
2.3 Estudo da estabilidade.....	48
2.4 Análises das amostras.....	48
2.4.1 Atividade de água (aw).....	48
2.4.2 Umidade .....	48
2.4.3 Ácido ascórbico.....	48
2.4.4 Carotenóides totais.....	49
2.4.5 Compostos fenólicos.....	49
2.4.6 Atividade antioxidante.....	49
2.4.7 Determinação de cor .....	50
2.4.8 Temperatura de transição vítrea (Tg) .....	50
2.5 Determinação das isotermas de sorção.....	50
2.6 Análise estatística .....	52
3. Resultados e discussão .....	52
3.1 Estudo da estabilidade do suco de ciriguela atomizado.....	52
3.2 Isotermas de sorção.....	64
4. Conclusão.....	66
5. Referências bibliográficas.....	67
APÊNDICE.....	71

## INTRODUÇÃO

A ciriguela (*Spondias purpurea* L.) é uma fruta originária na América Central, bastante consumida no nordeste brasileiro. Dentre as suas características estão o curto período de colheita, a alta perecibilidade, além de excelente qualidade sensorial. Somando-se a isto, apresenta ótimas perspectivas comerciais por meio do uso de processamentos pós-colheita que visam estender a vida de prateleira, além de agregar valor ao produto final e facilitar a comercialização em regiões onde o clima não é favorável para o cultivo (MALDONADO-ASTUDILLO et al., 2014; TODISCO et al., 2013).

Existem diversas técnicas de processamento pós-colheita, dentre elas, destaca-se, nesta dissertação, a secagem por atomização ou *spray-drying*. Este método consiste na aplicação de uma energia que age sobre o líquido até provocar seu rompimento, criando um *spray* de gotículas, que em contato rápido com o ar quente, resulta na produção de um pó. Vale ressaltar que, esta técnica utiliza altas temperaturas e a evaporação rápida favorece sua aplicação em alimentos sensíveis ao calor (SANTHALAKSHMY et al., 2015; PHISUT, 2012).

A partir desta perspectiva, uma vez que a secagem por atomização reduz o custo com transporte, facilita o armazenamento e aumenta a vida de prateleira, os sucos de frutas em pó têm se apresentado com grande potencial econômico (FANG; BHANDARI, 2012; PHISUT, 2012). Apesar das vantagens relacionadas a este processo, a atomização de suco de frutas costuma apresentar alguns problemas durante o processamento, manuseio e armazenamento, devido à presença de açúcares de baixo peso molecular e ácidos orgânicos (CALISKAN; DIRIM, 2013; PHISUT, 2012). A técnica de microencapsulação por meio do uso de agentes encapsulantes torna-se fundamental para viabilizar a secagem por atomização dos referidos produtos, reduzindo o fenômeno de aglomeração (CANO-HIGUITA et al., 2015; FERNANDES; BORGES; BOTREL, 2014).

Ainda que considerados estáveis ao armazenamento, devido a sua natureza amorfa, os sucos de frutas atomizados são sensíveis às variações de umidade, pressão, atividade de água e temperatura. Estas condições ambientais, quando não controladas, produzem efeitos não apenas na aderência, viscosidade e pegajosidade, mas, ainda, podem levar a perda de compostos fitoquímicos bioativos e da atividade antioxidante (FERNANDES; BORGES; BOTREL, 2014).

Diversos estudos têm sido desenvolvidos para avaliar a estabilidade dos compostos bioativos e atividade antioxidante em sucos atomizados armazenados em diferentes condições de armazenamento, tais como ácido ascórbico presente no suco de laranja (ISLAM et al., 2016), fenólicos presentes em extrato de cagaita (DAZA et al., 2016) e na casca da romã (ÇAM; IÇYER; ERDOĞAN, 2014), polifenóis em groselha (BAKOWSKA-BARCZAK; KOLODZIEJCZYK, 2011) e antocianinas na polpa de açaí (TONON et al., 2010). Porém, a estabilidade dos fitoquímicos presentes no suco de ciriguela atomizado, bem como sua atividade antioxidante ainda não foram investigados.

Diante do exposto, esta dissertação tem como objetivo estudar a estabilidade do suco de ciriguela atomizado, a fim de determinar quais as melhores condições de armazenamento do pó para que as alterações das características físico-químicas, compostos bioativos e atividade antioxidante sejam minimizadas.

## **PROBLEMA DE PESQUISA E HIPÓTESE**

Até que ponto o processo de secagem por atomização prolonga a vida de prateleira do suco de ciriguela atomizado? Quais as melhores condições de umidade e tempo para o armazenamento deste pó a fim de que as alterações nas características físico-químicas e compostos bioativos sejam minimizadas?

Para responder a estes questionamentos, supõe-se que os dados acerca das isotermas de sorção, da temperatura de transição vítrea, da avaliação do teor de compostos bioativos e da atividade antioxidante, sejam suficientes para fornecer informações necessárias e possibilitar a determinação das condições de armazenamento que possibilitem a estabilidade do suco de ciriguela atomizado.



## REVISÃO DE LITERATURA

### 1. Importância das frutas

Brasil é o terceiro maior produtor mundial de frutas tropicais, e dentro deste cenário, o nordeste brasileiro apresenta condições geográficas bastante favoráveis para a produção de frutas tropicais, além de possuir um vasto número de frutas nativas ainda inexploradas, de potencial interesse para a agroindústria (ANUÁRIO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 2015; OMENA et al., 2012). A produção e processamento destas frutas representam uma oportunidade não só para o comércio local, como para o mercado nacional e internacional. No entanto, ainda são escassas as informações sobre a composição nutricional e compostos bioativos de algumas frutas nativas e seus derivados (AUGUSTO; CRISTIANINI; IBARZ, 2012; OMENA et al., 2012; ALMEIDA et al., 2011; CONTRERAS-CALDERÓN et al., 2011).

O consumo de frutas tropicais tem aumentado devido ao reconhecimento do seu valor para a saúde humana, aliado a tendência dos consumidores em valorizar a ingestão de frutas nativas (AUGUSTO; CRISTIANINI; IBARZ, 2012; CONTRERAS-CALDERÓN et al., 2011; VALENTE et al., 2011). Pesquisas indicam que o consumo frequente de frutas está associado não só a manutenção de diversas atividades metabólicas do organismo, como também, a uma redução no risco de doenças crônico-degenerativas e prevenção de anomalias fisiológicas, tais como câncer, inflamações, arteriosclerose, diabetes, aceleração do envelhecimento, Parkinson e Alzheimer (OMENA et al., 2012; ALMEIDA et al., 2011; CONTRERAS-CALDERÓN et al., 2011; VALENTE et al., 2011).

Estudos mostram que esta associação deve-se à presença de vários compostos bioativos em frutas, dentre os quais, vitaminas, minerais, fenólicos. Desta forma, vários fitoquímicos encontrados em frutas e plantas medicinais tem recebido bastante atenção nas indústrias de alimentos, farmacêuticas e cosméticas. Os benefícios à saúde e este efeito protetor podem ser atribuídos à capacidade antioxidante destes compostos que protegem os sistemas biológicos contra os efeitos potencialmente prejudiciais de processos ou reações que podem causar oxidação excessiva (OMENA et al., 2012; ALMEIDA et al., 2011; CONTRERAS-CALDERÓN et al., 2011).

A capacidade antioxidante das frutas depende do tipo de fitoquímicos, tais como vitaminas, carotenóides, flavonóides e outros polifenóis; e do conteúdo destes compostos no fruto e derivados. Além disso, fatores como maturação, espécie, fatores genéticos, prática de cultivo, origem geográfica, estágio de maturação, condições de colheita, processamento e condições de armazenamento podem influenciar no conteúdo final destes compostos bioativos (CONTRERAS-CALDERÓN et al., 2011; ALMEIDA et al., 2011).

Pesquisas recentes indicam que o consumo de ciriguela é uma alternativa para a ingestão de antioxidantes naturais, no entanto, apesar de alguns estudos destacarem a presença de fitoquímicos na fruta e seu potencial antioxidante, poucos estudos têm se dedicado a investigação de fitoquímicos e ao estudo do potencial antioxidante de seus produtos derivados (MALDONADO-ASTUDILLO et al., 2014; ENGELS et al., 2012; OMENA et al., 2012; SILVA et al., 2012; ALMEIDA et al., 2011).

## 2. Ciriguela

A ciriguela (*Spondias purpurea* L.) (Figura 1) pertence à família da Anacardiaceae, que compreende mais de 70 gêneros e 600 espécies, as quais estão distribuídas principalmente nas regiões temperadas, tropical e subtropical (ENGELS et al., 2012; OMENA et al., 2012; BICAS et al., 2011). Do ponto de vista fitoquímico, membros da família Anacardiaceae são ricos em metabólitos secundários, em particular compostos fenólicos, de interesse biológico (MALDONADO-ASTUDILLO et al., 2014; ENGELS et al., 2012; OMENA et al., 2012; SILVA et al., 2012).

Este fruto tem sua origem relatada à América Central, é nativa das florestas secas do México e América Central e encontra-se distribuída no México, no nordeste do Peru, Guatemala e nordeste do Brasil, sendo endêmica de regiões semi-áridas (MALDONADO-ASTUDILLO et al., 2014; TODISCO et al., 2014; AUGUSTO; CRISTIANINI; IBARZ, 2012; OMENA et al., 2012; BICAS et al., 2011). Por ser nativa de várias localidades, existe ao menos 180 nomes comuns para esta espécie, tais como jocote, ciruela, seriguela, siriguela, ceriguela, ameixa espanhola, cajá vermelho (ENGELS et al., 2012; BICAS et al., 2011).

**Figura I** – Ciriguela (*Spondias purpurea* L.)



Fonte: a autora (2015).

A ciriguela é um fruto do tipo drupa, que apresenta ampla variedade de cor (verde, amarelo, laranja, vermelho, violeta), tamanho (3-5 cm de comprimento), peso (12-28g) e sabor (adocicado, ácido) devido à influência de variedade botânica e fase de amadurecimento (ENGELS et al., 2012; OMENA et al., 2012). Segundo Maldonado-Astudillo et al. (2014), a coloração desta fruta pode variar também em função do processo de amadurecimento como resultado do metabolismo dos carotenóides e da clorofila; além da intensidade luminosa e da composição atmosférica durante o armazenamento.

Este fruto apresenta epicarpo liso, que representa aproximadamente 14% do peso total da fruta; endocarpo lignificado, fibroso, não comestível, de coloração esbranquiçada representando aproximadamente 17% do peso total do fruto; e mesocarpo, de *flavor* agradável ao paladar, contribuindo com aproximadamente 69% do peso total do fruto (MALDONADO-ASTUDILLO et al., 2014; ENGELS et al., 2012; FILGUEIRAS, 2001). Quando maduras, no entanto, apresentam características bem distintas, tais como casca fina, lisa e brilhante, coloração amarelo-avermelhado, sabor adocicado e levemente ácido, além de aroma intenso e polpa succulenta (ENGELS et al., 2012; OMENA et al., 2012; LIRA JUNIOR et al., 2010).

Dados sobre a composição de alimentos são de extrema importância não só para a saúde pública, permitindo a avaliação da ingestão alimentar de um indivíduo e os efeitos da dieta na saúde ou doença, mas também para a indústria de alimentos, fornecendo informações detalhadas sobre componentes

nutricionalmente importantes e de apelo comercial (VALENTE et al., 2011). De acordo com os dados sobre a composição química deste fruto (Tabela I) pode-se inferir que ciriguela é rica em carboidratos, potássio, vitamina C, fósforo, cálcio e zinco (TACO, 2011; LIRA JUNIOR et al., 2010; BRASIL, 2002).

**Tabela I** – Composição química da polpa de ciriguela

<b>Constituintes</b>	<b>Quantidade em 100g de polpa</b>
Energia	76,0 Kcal
Umidade	78,7%
Carboidratos	18,9g
Fibra alimentar	3,9g
Proteínas	1,4g
Lipídeos	0,4g
Potássio <sup>1</sup>	250mg
Vitamina C <sup>2</sup>	45mg
Fósforo <sup>2</sup>	40mg
Cálcio	27mg
Zinco <sup>1</sup>	20mg
Magnésio	18mg

Fonte: TACO (2011); Lira Junior et al.(2010)<sup>1</sup>; BRASIL (2002)<sup>2</sup>.

Os ácidos orgânicos são importantes na maturação da ciriguela, sendo normalmente determinados por titulação e expressos em porcentagem de ácido cítrico, devido à predominância deste ácido orgânico neste fruto. Maldonado-Astudillo et al. (2014) encontraram valores entre 0,01% e 2% de ácido cítrico, enquanto Lira Junior et al. (2010) estudando variedades de ciriguela da Zona da Mata Norte de Pernambuco, encontraram valores entre 1,15% e 0,73% de ácido cítrico. Vale ressaltar, que a acidez titulável da ciriguela pode variar em função da variedade genética, período de colheita e grau de amadurecimento (MALDONADO-ASTUDILLO et al., 2014).

A caracterização do fruto quanto ao conteúdo dos sólidos solúveis é de grande importância para determinar a qualidade do mesmo. A determinação desta variável, associada à determinação da acidez titulável, cor e textura, é bastante aplicada na determinação do estágio de maturação, além de ser um importante indicador de aceitação pelos consumidores (MALDONADO-ASTUDILLO et al., 2014).

De acordo com Maldonado-Astudillo et al.(2014), estudos mostram que as variáveis brasileiras de ciriguela apresentam um conteúdo de sólidos solúveis entre 6,23°Brix e 27°Brix. No entanto, vale ressaltar que os frutos cultivados na Zona da Mata Norte de Pernambuco apresentam uma média de sólidos solúveis de 19,94°Brix, valor que vem a caracterizar a fruta com seu sabor adocicado, principalmente quando completamente amadurecida (LIRA JUNIOR et al., 2010).

Por sua excelente qualidade organoléptica, são consumidas *in natura* maduras ou ainda verdes, com sal ou ainda na forma de bebidas, doces e sorvetes (TODISCO et al., 2013; AUGUSTO; CRISTIANINI; IBARZ, 2012; ENGELS et al., 2012; BICAS et al., 2011).

Devido ao cultivo intenso do gênero *Spondias* spp para fins comerciais, informações específicas sobre as características de diferentes genótipos ainda é escassa, em função do seu caráter extrativista de cultivo baseado em práticas de agricultura informal (MALDONADO-ASTUDILLO et al., 2014). Segundo Lira Junior et al. (2010), sua produção ocorre nas regiões semiáridas do Agreste e Sertão, atingindo algumas regiões de Zona da Mata. Além disso, este fruto apresenta período de safra relativamente curto, entre Dezembro e Fevereiro, durante o qual são gerados diversos empregos informais na região de cultivo desde a colheita até sua comercialização (TODISCO et al., 2014; OMENA et al., 2012; LIRA JUNIOR et al., 2010).

Por sua alta perecibilidade quando madura, em alguns casos, a colheita desta fruta pode ocorrer antes do estado de maturação, induzindo a um processo de amadurecimento de forma irregular. Além disso, quando madura, torna-se susceptível a decomposição por microrganismos, reações químicas e enzimáticas, sendo amplamente consumida nas localidades próximas às regiões de cultivo e raramente comercializada *in natura* para localidades afastadas do local de plantio (MALDONADO-ASTUDILLO et al., 2014; VALENTE et al., 2011; SAMPAIO et al., 2008).

Tendo em vista os relatos de usos medicinais da ciriguela, tais como tratamento de diarreia, úlcera, aftas, disenteria; além das demais características citadas, constata-se que a ciriguela apresenta boas perspectivas para objetivos comerciais desde que aplicadas tecnologias de pós-colheita para estender sua vida de prateleira e reduzir as perdas pós-colheita (TODISCO et al., 2013; ENGELS et al., 2012). Produtos derivados como sucos atomizados de ciriguela

podem agregar valor a este fruto, aumentando a disponibilidade e permitindo comercialização em regiões cujo clima não favorece o cultivo (TODISCO et al., 2014; TODISCO et al., 2013). Vale ressaltar que não há relatos sobre a caracterização e estabilidade dos fitoquímicos bioativos e atividade antioxidante presentes em sucos de ciriguela atomizados.

## 2.1 Antioxidantes

Antioxidantes são um grupo de compostos produzidos pelo corpo humano e que estão presentes, naturalmente, em muitos alimentos. Estas substâncias podem atuar de forma sinérgica na proteção contra os danos causados por radicais livres, reduzindo os danos ao DNA, reduzindo a peroxidação lipídica, inibindo a iniciação ou propagação de agentes oxidantes, e contribuindo com a manutenção da imunidade (OMENA et al., 2012; MORAGA et al. 2012; ALMEIDA et al., 2011; CONTRERAS-CALDERÓN et al., 2011). Além destas funções biológicas, os antioxidantes naturais são de grande interesse na indústria alimentícia, uma vez que podem ser utilizados como substitutos de antioxidantes sintéticos (ALMEIDA et al., 2011).

Além de desempenhar a função protetora contra radicais livres, os compostos antioxidantes são também responsáveis por algumas características sensoriais dos alimentos, tais como cor, adstringência, aroma (AMORIM-CARRILHO et al., 2014; ALMEIDA et al., 2011).

Nos alimentos, dentre os compostos associados à atividade antioxidante estão o ácido ascórbico e uma série de substâncias chamadas fitoquímicos, dentre as quais estão os polifenóis, tocoferóis, carotenóides, tocotrienóis e outros tióis. Na ciriguela, os fitoquímicos de interesse com atividade antioxidante são o ácido ascórbico, os carotenóides e os compostos fenólicos (OMENA et al., 2012; ALMEIDA et al., 2011).

## 2.2 Ácido ascórbico

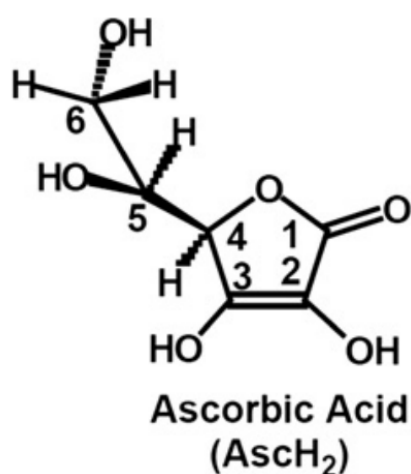
O ácido ascórbico (AA) (Figura II) é uma substância orgânica de baixo peso molecular, hidrossolúvel, formada por dois grupos hidroxilas ionizáveis, considerada o principal nutriente naturalmente presente nos alimentos,

principalmente em frutas e hortaliças (DU; CULLEN; BUETTNER, 2012; ALMEIDA et al., 2011; VALENTE et al., 2011).

Desde a sua descoberta em 1927, o interesse por este micronutriente continua crescendo devido às suas atribuições funcionais (GABRIEL et al., 2015; DU; CULLEN; BUETTNER, 2012). Por ser considerado um antioxidante natural, é amplamente utilizado como aditivo alimentar para aumentar a qualidade do produto, prevenindo alterações de cor e *flavor*, prolongando a vida de prateleira do mesmo (GABRIEL et al., 2015; ALMEIDA et al., 2011; VALENTE et al., 2011).

A atividade antioxidante do ácido ascórbico e seus isômeros deve-se a sua capacidade de capturar o oxigênio presente no meio através de reações químicas, tornando-os indisponíveis para atuarem como propagadores da autoxidação. Além disso, este composto pode atuar em sinergia na regeneração de antioxidantes primários (GABRIEL et al., 2015; CONTRERAS-CALDERÓN et al., 2011).

**Figura II** – Estrutura química do ácido ascórbico



Fonte: Du; Cullen; Buettner (2012).

Na ciriguela o conteúdo de ácido ascórbico pode variar entre 7,36 e 88,1 mg.100g<sup>-1</sup> de peso fresco, o qual é maior que os valores encontrados nas demais espécies de *Spondias* spp. tais como *S. tuberosa* (umbu) e *S. mombin* (cajá) (MALDONADO-ASTUDILLO et al., 2014). Omena et al. (2012) investigando atividade antioxidante de extratos etanólicos de frutas exóticas brasileiras, reportam valores de 115 mg AA.100g<sup>-1</sup>, 130 mg AA.100g<sup>-1</sup> e 332 mg AA.100g<sup>-1</sup>

para os extratos de casca, polpa e semente de ciriguela, respectivamente. Enquanto, no estudo com frutas exóticas do nordeste brasileiro, Almeida et al. (2011) encontraram valores considerados moderados para a ciriguela de 29,6 mg AA.100g<sup>-1</sup> de peso fresco.

Vale salientar, que o conteúdo do ácido ascórbico nos alimentos pode ser afetado por diversos fatores, tais como clima, método de colheita, armazenamento e processamento (VALENTE et al., 2011). Para a ciriguela, o conteúdo de ácido ascórbico varia também de acordo com o estágio de maturação, apresentando maiores valores no início da maturação e com tendência a redução durante a fase climatérica (MALDONADO-ASTUDILLO et al., 2014; SAMPAIO et al., 2008).

### 2.3 Carotenóides

Os carotenóides são pigmentos orgânicos lipossolúveis, constituídos por 40 carbonos unidos por duplas ligações, sendo responsáveis pela coloração de uma variedade de alimentos (AMORIM-CARRILHO et al., 2014; GIUFFRIDA et al., 2013; FENNEMA, 2010). Mais de 700 tipos de carotenóides podem ser encontrados na natureza, os quais estão divididos em dois grupos: as moléculas que contêm oxigênio (xantofilas), como a luteína e zeaxantina; e as não oxigenadas ou hidrocarbonos (carotenos), tais como o  $\beta$ -caroteno e licopeno (Figura III) (OROIAN; ESCRICHE, 2015; AMORIM-CARRILHO et al., 2014; GIUFFRIDA et al., 2014; MURILLO et al., 2013).

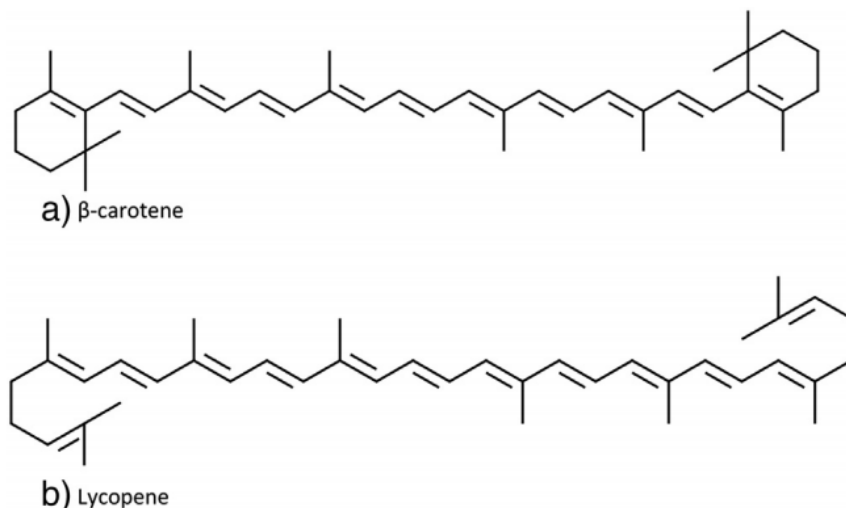
Os carotenóides estão presentes na natureza na sua forma livre ou em forma mais estável, esterificados com ácidos graxos. Além disso, durante o processo de amadurecimento, a síntese de carotenóides nas frutas aumenta consideravelmente, atingindo um pico de concentração ao final da fase climatérica, associada à manutenção da coloração alaranjada do fruto (GIUFFRIDA et al., 2014; MURILLO et al., 2013; SAMPAIO et al., 2008).

Durante muitos anos, desde a sua descoberta no século 19, estes isoprenóides atraíram o interesse da indústria de alimentos pela sua propriedade colorífica, normalmente associada à aceitabilidade de alimentos (MURILLO et al., 2010). No entanto, ganharam maior destaque devido às suas importantes



propriedades funcionais, dentre as quais, destaca-se sua atividade antioxidante (GIUFFRIDA et al., 2014; MURILLO et al., 2013; MURILLO et al., 2010).

**Figura III** – Estrutura química do  $\beta$ -caroteno e licopeno



Fonte: Oroian; Escriche (2015).

A capacidade antioxidante dos carotenóides deve-se especificamente à sua habilidade de quelar oxigênio singlete e interagir com os radicais livres que está relacionado a seu sistema de dupla ligação conjugada. Carotenóides com mais de nove duplas ligações oferecem maior atividade antioxidante. Somando-se a isto, alguns carotenóides apresentam atividade pró-vitamina A, vitamina esta, capaz de prevenir diversas doenças relacionadas à visão, como a cegueira noturna (AMORIM-CARRILHO et al., 2014; GIUFFRIDA et al., 2014). O consumo de carotenóides, pró-vitamina A ou não, tem sido associado a inúmeros benefícios à saúde, tais como prevenção de doenças cardiovasculares, doenças degenerativas, doenças crônicas e diversas formas de câncer (OROIAN; ESCRICHE, 2015; WISUTIAMONKUL et al., 2015; AMORIM-CARRILHO et al., 2014; GIUFFRIDA et al., 2014; MURILLO et al., 2013; KHA; NGUYEN; ROACH, 2010; MURILLO et al., 2010).

Embora esteja presente em inúmeros alimentos, frutas e hortaliças de coloração amarelo-alaranjada e verde escuro são as principais fontes deste composto fitoquímico, tais como tomate, cenoura, espinafre, manga, dentre outros (WISUTIAMONKUL et al., 2015; AMORIM-CARRILHO et al., 2014; MALDONADO-ASTUDILLO et al., 2014; MURILLO et al., 2013). Entretanto, a

variedade da cultivar, o genótipo, tempo de maturação, técnicas de cultivo, condições edafoclimáticas e condições de armazenamento podem provocar alterações na quantidade deste pigmento (AMORIM-CARRILHO et al., 2014; GIUFFRIDA et al., 2014; MALDONADO-ASTUDILLO et al., 2014). O teor de carotenóides pode ainda sofrer variações quando submetido a operações de processamento convencional, doméstico ou industrial, porém a principal causa de perda de carotenóides pós-colheita é a oxidação. Fatores como temperatura, exposição à luz e oxigênio, matriz alimentar, atividade de água, enzimas e a presença de outros compostos pró e antioxidantes são os principais responsáveis pela perda oxidativa (AMORIM-CARRILHO et al., 2014; DIAS; CAMÕES; OLIVEIRA., 2014).

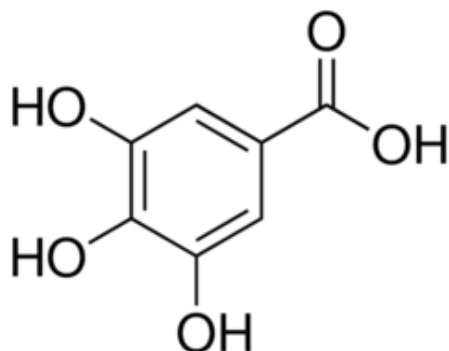
A coloração amarelo-avermelhada da ciriguela deve-se, principalmente, aos carotenóides presentes em sua composição. Segundo Maldonado-Astudillo et al. (2014), a ciriguela apresenta maior teor de carotenóides no epicarpo e menor no mesocarpo. Ainda segundo o autor, o conteúdo de carotenóides no epicarpo aumenta com a maturação, variando de  $88,6 \mu\text{g.g}^{-1}$  a  $243,79 \mu\text{g.g}^{-1}$  ao final da maturação. Por outro lado, o conteúdo de carotenóides presente no mesocarpo decresce ao final do período de amadurecimento, reduzindo de  $11,48 \mu\text{g.g}^{-1}$  para  $10,75 \mu\text{g.g}^{-1}$  (MALDONADO-ASTUDILLO et al., 2014). Murillo et al. (2010) estudando hortaliças e frutas do Panamá, encontraram um teor pouco maior de carotenóides totais em ciriguela de  $18,2 \mu\text{g.g}^{-1}$ ; ressaltando as variações deste pigmento entre genótipos diferentes.

#### 2.4 Compostos fenólicos

Os compostos fenólicos, também conhecidos como polifenóis, são uma classe de metabólitos secundários, que apresentam em sua estrutura química um anel aromático com uma ou mais hidroxilas (OROIAN; ESCRICHE, 2015; DENEV et al., 2014). Foram identificados mais de 8000 tipos de compostos fenólicos, os quais estão amplamente distribuídos no reino vegetal. Estas substâncias variam de acordo com sua estrutura química, podendo ser encontrados desde anéis aromáticos simples e de baixo peso molecular até estruturas químicas complexas. Os principais grupos de polifenóis são os ácidos fenólicos, estilbenos, taninos, flavonoides, cumarinas (RAMÍREZ; GIRALDO; ORREGO, 2015; OROIAN;

ESCRICHE, 2015; SILVA et al., 2012; ALMEIDA et al., 2011). Vale ressaltar que, dentre estes compostos, o ácido gálico (Figura IV) destaca-se por ser uma substância amplamente distribuída em frutas e plantas, normalmente encontrada em sua forma esterificada (RAMÍREZ; GIRALDO; ORREGO, 2015; OROIAN; ESCRICHE, 2015; DENEV et al., 2014; SILVA et al., 2012).

**Figura IV** – Estrutura química do ácido gálico



Fonte: Fennema (2010).

Desde o século passado, o interesse por estes compostos tem aumentado devido as suas propriedades antioxidantes e seus benefícios à saúde humana (RAMÍREZ; GIRALDO; ORREGO, 2015; OROIAN; ESCRICHE, 2015; DENEV et al., 2014). Os polifenóis apresentam potentes habilidades para inativar radicais livres através do mecanismo de transferência de elétrons. O princípio básico da capacidade antioxidante dos compostos fenólicos está relacionado ao número e localização de hidroxilas fenólicas presentes em sua estrutura química, que são capazes de doar hidrogênio para estabilizar os radicais livres (OROIAN; ESCRICHE, 2015; DENEV et al., 2014; SILVA et al., 2012; FANG; BHANDARI, 2011).

Alguns estudos evidenciam os benefícios do consumo dos compostos fenólicos à saúde humana, relacionando-os com ação anti-inflamatória, antimicrobiana, antiviral e redução do risco de doenças crônicas e degenerativas (RAMÍREZ; GIRALDO; ORREGO, 2015; OROIAN; ESCRICHE, 2015; DENEV et al., 2014; MALDONADO-ASTUDILLO et al., 2014). Além disso, estes fitoquímicos desempenham um papel importante em frutas por estarem envolvidos nas reações de escurecimento durante e após o processamento, bem como devido a

sua influência nas características sensoriais de adstringência e sabor (CARVALHO et al., 2015; MALDONADO-ASTUDILLO et al., 2014).

Sabe-se que a composição destas substâncias em frutas varia de acordo com a variedade, cultivar, condições edafoclimáticas, técnicas de cultivo, período de armazenamento e processamento pós-colheita; além disso, a ação antioxidante destes compostos depende de sua estrutura química, de sua concentração e de sua estabilidade ao processamento e armazenamento (RAMÍREZ; GIRALDO; ORREGO, 2015; SILVA et al., 2012; FANG; BHANDARI, 2011).

Na literatura, o teor de fenólicos na ciriguela é bastante variado. Segundo Maldonado-Astudillo et al. (2014) indicam que não há diferença significativa entre o teor de fenólicos da ciriguela durante as fases de amadurecimento. No geral, estas substâncias estão localizadas preferencialmente no epicarpo e endocarpo desta fruta, e em menor proporção na sua polpa (OMENA et al., 2012).

Almeida et al. (2011) em seu estudo com frutas exóticas do Nordeste brasileiro, encontraram valores de fenólicos totais de  $55 \text{ mg GAE} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$  de peso fresco para a ciriguela. Omena et al. (2012) pesquisando a atividade antioxidante de extratos de casca, semente e polpa de frutas exóticas brasileiras, reportam valores de  $13,5 \text{ mg GAE} \cdot \text{g}^{-1}$  de extrato da polpa de ciriguela,  $112,2 \text{ mg GAE} \cdot \text{g}^{-1}$  de extrato da casca de ciriguela e  $254,7 \text{ mg GAE} \cdot \text{g}^{-1}$  de extrato da semente de ciriguela. Neste mesmo estudo, foram identificados diversos compostos fenólicos nos extratos de pele, polpa e semente da ciriguela, tais como fenóis, taninos, antraquinonas, cumarinas, saponinas, antocianinas, quercetina, ácido quínico e catequinas.

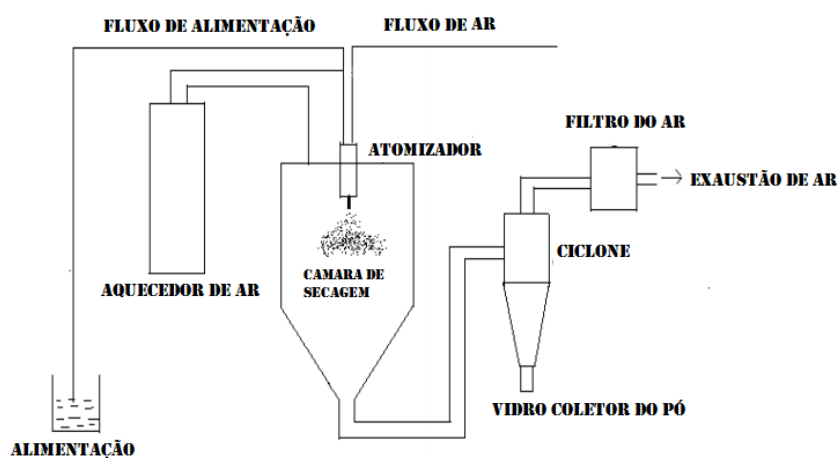
Neste mesmo ano, Engels et al. (2012) caracterizaram 21 compostos fenólicos presentes no epicarpo da ciriguela, onde foram identificados compostos fenólicos, flavonóides, tais como O-glicosídeos de quercetina, kaempferol, kaempferideo, dentre outros. Enquanto Silva et al. (2012) quantificando o teor de fenólicos de 11 genótipos de ciriguela, encontraram valores bastante satisfatórios entre  $351,3 \text{ mg GAE} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$  de polpa e  $862,32 \text{ mg GAE} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$  de polpa, ressaltando a influência dos cultivares no teor destes fitoquímicos.

### 3. Secagem por atomização

A secagem é um processo de conservação, que tem sido amplamente aplicado na indústria de alimentos, a fim de obter alimentos mais estáveis, de fácil manipulação e armazenamento, abrindo possibilidades para o surgimento de novos tipos de alimentos que visam atender às novas tendências dos consumidores. Dentre os vários tipos de tecnologias de secagem, a secagem por atomização ou *spray-drying* destaca-se por ser um método rápido, econômico, contínuo, amplamente utilizado na indústria de alimentos e que apresenta versatilidade tecnológica (SANTHALAKSHMY et al., 2015; BHUSARI; MUZAFFAR; KUMAR, 2014; FERNANDES; BORGES; BOTREL, 2014; AFOAKWAH et al., 2012; CUQ; RONDET; ABECASSIS, 2011; FANG; BHANDARI, 2011; POSHADRI; KUNA, 2010).

Apesar de esta técnica ter sua origem na década de 1870, foi durante a Segunda Guerra Mundial que ganhou destaque por facilitar o transporte de alimentos (AFOAKWAH et al., 2012). A secagem por atomização é definida como uma operação unitária através da qual um produto no estado líquido é atomizado em uma corrente de ar quente com a finalidade de se obter um pó (FANG; BHANDARI, 2012; FERRARI et al., 2012; PHISUT, 2012; GHARSALLAOUI et al., 2007).

**Figura V – Atomizador**



Fonte: AFOAKWAH et al. (2012).

Todo atomizador ou *spray-dryer* (Figura V) é composto por uma bomba de alimentação, um atomizador, um aquecedor de ar, um dispersor de ar, uma câmara de secagem e sistemas de exaustão e recuperação do pó produzido (AFOAKWAH et al., 2012). Inicialmente, a bomba de alimentação impulsiona uma solução ou suspensão, e este fluxo de entrada é então pulverizado através de um bico atomizador, produzindo gotículas. Estas gotículas entram em contato com um fluxo de ar quente e vaporizado. O objetivo desta etapa é criar uma superfície máxima de transferência de calor entre o ar quente e seco e o líquido, maximizando a taxa de vaporização da água presente no líquido e a transferência de calor e de massa. O tempo de contato, entre o ar quente e as gotículas, necessário para evaporar a água presente na gotícula é de apenas alguns segundos, e uma vez que a temperatura das partículas torna-se igual à do ar, ocorre a formação do pó e as partículas produzidas são, então, recuperadas no vidro coletor (AFOAKWAH et al., 2012; PHISUT, 2012; GHARSALLAOUI et al., 2007). Vale ressaltar que, as propriedades físico-químicas do pó produzido pela secagem por atomização dependem de vários fatores, tais como a temperatura de secagem, a taxa de alimentação do ar seco, a taxa de alimentação da solução, a velocidade da atomização, o tipo de agente carreador e sua concentração, além das propriedades do material de secagem (CANO-HIGUITA et al., 2015; SANTHALAKSHMY et al., 2015; BHUSARI; MUZAFFAR; KUMAR, 2014; CALISKAN; DIRIM, 2013; FERRARI et al., 2012; PHISUT, 2012; TONON et al., 2008). Logo, o controle e otimização destas variáveis resulta na obtenção de um pó com boas propriedades físico-químicas, baixa atividade de água, estabilidade microbiológica e, conseqüentemente mais estável ao armazenamento (CUQ; RONDET; ABECASSIS, 2011; GHARSALLAOUI et al., 2007).

Segundo a literatura, são diversas as vantagens da secagem por atomização, dentre as quais estão a produção de um produto com propriedades específicas, a flexibilidade de aplicação, redução das reações bioquímicas, redução do tamanho e peso do produto, redução dos custos com armazenagem e transporte, facilidade de manuseio, aplicação em produtos pré-formulados, estabilidade e aumento de vida de prateleira (SANTHALAKSHMY et al., 2015; FERNANDES; BORGES; BOTREL, 2014; CALISKAN; DIRIM, 2013; AFOAKWAH et al., 2012; PHISUT, 2012; CATELAM; TRINDADE; ROMERO, 2011; CUQ; RONDET; ABECASSIS, 2011; FANG; BHANDARI, 2011).

No que se refere a sua aplicação, a secagem por atomização é uma técnica bastante útil, tanto para secagem como para o encapsulamento de alimentos sensíveis ao calor, sendo amplamente aplicado na secagem de sucos de frutas (FANG; BHANDARI, 2012; PHISUT, 2012; CATELAM; TRINDADE; ROMERO, 2011; FANG; BHANDARI, 2011; GHARSALLAOUI et al., 2007). A literatura reporta o uso do atomizador na secagem de extrato de cagaita (DAZA et al., 2016), polpa de tamarindo (MUZAFFAR; KUMAR, 2016), suco de azeitona preta (SANTHALAKSHMY et al., 2015), suco de manga (CANO-HIGUITA et al., 2015), suco de amla (MISHRA; MISHRA; MAHANTA, 2014), suco de laranja (SORMOLI; LANGRISH, 2015), suco de amora (FERRARI et al., 2013), suco de jaboticaba (SILVA et al., 2013), polpa de ciriguela (TODISCO et al., 2013), suco de limão (ZAREIFARD et al., 2012) e polpa de açaí (TONON et al., 2008).

No entanto, um fenômeno que frequentemente ocorre durante a secagem de sucos e polpas de frutas é a aglomeração. Este fato acarreta em problemas operacionais e ocorre devido à presença de açúcares de baixo peso molecular e ácidos orgânicos presentes nos referidos produtos (CALISKAN; DIRIM, 2013; PHISUT, 2012; CATELAM; TRINDADE; ROMERO, 2011; FANG; BHANDARI, 2011; GHARSALLAOUI et al., 2007).

A secagem de sucos de frutas tende a apresentar alguns problemas durante o processo, tais como a aderência do pó a câmara de secagem, redução do rendimento do produto e aumento da viscosidade durante a manipulação e armazenamento (TODISCO et al., 2013; ZAREIFARD et al., 2012; TRUONG; BHANDARI; HOWES, 2005). Este fenômeno ocorre devido à presença destes açúcares de baixo peso molecular e baixa temperatura de transição vítrea, de natureza higroscópica e termoplástica, em especial sacarose, glicose e frutose, os quais provocam mudanças na viscosidade, solubilidade e higroscopicidade do pó (TODISCO et al., 2013; PHISUT, 2012; ZAREIFARD et al., 2012; TRUONG; BHANDARI; HOWES, 2005).

A fim de solucionar os problemas de secagem relacionados à aderência do pó, diversos estudos realizam a microencapsulação deste produto por meio da adição de agentes carreadores ao produto antes de ser atomizado (CANO-HIGUITA et al., 2015; BHUSARI; MUZAFFAR; KUMAR, 2014; MISHRA; MISHRA; MAHANTA, 2014; CALISKAN; DIRIM, 2013; FERRARI et al., 2012).

### 3.1 Microencapsulação

Entende-se por microencapsulação como sendo um processo físico em que pequenas gotículas são revestidas e aprisionadas numa camada protetora (CUQ; RONDET; ABECASSIS, 2011; POSHADRI; KUNA, 2010; GHARSALLAOUI et al., 2007). Várias técnicas podem ser empregadas a fim de realizar microencapsulação tais como: *spray-drying*, *spray-cooling*, *spray-chilling*, extrusão, *freeze-drying*, coacervação, dentre outros (MORAGA et al., 2012; MOSQUERA; MORAGA; MARTÍNEZ-NAVARRETE, 2012; NAZZARO et al., 2012; POSHADRI; KUNA, 2010; GHARSALLAOUI et al., 2007).

A microencapsulação por atomização caracteriza-se por ser um dos métodos mais antigos de encapsulação. Relatos indicam que foi aplicado pela primeira vez na década de 1930 para encapsular aromas utilizando goma acácia como material de revestimento (GHARSALLAOUI et al., 2007). Desde então, tem sido amplamente aplicada na indústria de alimentos, possibilitando o encapsulamento de líquidos, partículas sólidas e até mesmo gases.

A aplicação do atomizador ou *spray-dryer* no processo de microencapsulação envolve basicamente quatro etapas: preparo da solução, dispersão ou emulsão; homogeneização da dispersão; atomização na câmara de secagem e desidratação das partículas atomizadas (POSHADRI; KUNA, 2010; GHARSALLAOUI et al., 2007).

O principal objetivo deste processo é criar uma barreira protetora reduzindo a reatividade do núcleo (material encapsulado) ao ambiente externo. De acordo com a literatura, a microencapsulação apresenta vários benefícios, tais como: proteger o núcleo das influências do meio ambiente (oxigênio, luminosidade, umidade, radicais livres); liberação do núcleo sob condições controladas; facilitar o manuseio; mascarar as propriedades sensoriais do núcleo; aumentar a estabilidade ao armazenamento; separar componentes reativos ou incompatíveis; auxiliar na incorporação de sistemas secos; evitar perdas de compostos voláteis, dentre outros (BHUSARI; MUZAFFAR; KUMAR, 2014; FERNANDES; BORGES; BOTREL, 2014; CUQ; RONDET; ABECASSIS, 2011; FANG; BHANDARI, 2011; AHAMED et al., 2010; POSHADRI; KUNA, 2010; GHARSALLAOUI et al., 2007).

As propriedades das microcápsulas ou microesferas produzidas dependem das propriedades físico-químicas do núcleo, da técnica aplicada para obtenção da



microencapsulação e da composição e da concentração do agente encapsulante (CANO-HIGUITA et al., 2015; MISHRA; MISHRA; MAHANTA, 2014; FERRARI et al., 2012; POSHADRI; KUNA, 2010; GHARSALLAOUI et al., 2007). Desta forma, a escolha do material de parede determina a eficiência e estabilidade da microencapsulação por atomização.

### 3.2 Agentes encapsulantes

Agentes encapsulantes, também denominados agentes carreadores, são basicamente materiais poliméricos naturais ou sintéticos capazes de formar filmes, cuja composição determina as propriedades físico-químicas e funcionais, estabilidade, solubilidade, higroscopicidade do produto final (PHISUT, 2012; POSHADRI; KUNA, 2010; GHARSALLAOUI et al., 2007).

Desta forma, o critério de seleção deste material de parede durante a microencapsulação baseia-se nas seguintes características: peso molecular, temperatura de transição vítrea, difusibilidade, cristalinidade, capacidade de formar filme, propriedade emulsificante, propriedades reológicas, não reatividade ao material encapsulado, capacidade de estabilizar o material ativo, solubilização em solventes específicos, além de disponibilidade e custo (PHISUT, 2012; SANSONE et al., 2011; POSHADRI; KUNA, 2010; GHARSALLAOUI et al., 2007).

Diversos materiais são utilizados como agentes encapsulantes, tais como maltodextrina, goma arábica, inulina, proteína do leite, amido, fécula de mandioca, ciclodextrina (CANO-HIGUITA et al., 2015; SANTHALAKSHMY et al., 2015; BHUSARI; MUZAFFAR; KUMAR, 2014; FERNANDES; BORGES; BOTREL, 2014; PENG et al., 2013; FERRARI et al., 2012; TONON et al., 2010). No entanto, a maltodextrina destaca-se como material de parede mais aplicado na secagem por atomização.

### 3.3 Maltodextrina

Maltodextrinas consistem em unidades de D-glucose unidas por ligações glicosídicas tipo  $\alpha$  (1 $\rightarrow$ 4), obtidos por meio da hidrólise enzimática ou ácida do amido, cuja fórmula geral é  $[(C_6H_{10}O_5)_nH_2O]$ . As propriedades destes carboidratos são definidas por seu grau de dextrose equivalente (DE) e grau de polimerização (DP), de forma que, o aumento na dextrose equivalente favorece o escurecimento

enzimático, a higroscopicidade, a solubilidade e o seu poder edulcorante, enquanto que reduz a viscosidade e retenção de voláteis (FERNANDES; BORGES; BOTREL, 2014; PHISUT, 2012; SANSONE et al., 2011; TAKEITI; KIECKBUSCH; COLLARES-QUEIROZ, 2010; TONON et al., 2009).

Este agente encapsulante tem sido amplamente aplicado na secagem por atomização de sucos de frutas, não só por apresentar alta solubilidade e baixa viscosidade, mas também por provocar alteração na superfície de açúcares de baixo peso molecular, presentes nos referidos produtos, facilitando a secagem e reduzindo a tendência à aderência (CANO-HIGUITA et al., 2015; BHUSARI; MUZAFFAR; KUMAR, 2014; PHISUT, 2012; SANSONE et al., 2011; TAKEITI; KIECKBUSCH; COLLARES-QUEIROZ, 2010; TONON et al., 2009; GHARSALLAOUI et al., 2007).

Diversos estudos relatam a utilização deste carboidrato no processo de secagem por atomização, como por exemplo em suco de manga (CANO-HIGUITA et al., 2015), suco de pitaita (LEE; WU; SIOW, 2013), polpa de ciriguela (TODISCO et al., 2013), suco de laranja (SORMOLI; LANGRISH, 2015), suco de amora (FERRARI et al., 2012), polpa de noni (FABRA et al., 2011), polpa de açaí (TONON et al., 2008), a fim de facilitar a secagem, a eficiência da microencapsulação e aumentar a estabilidade do pó durante o armazenamento.

#### 4. Estabilidade de pós produzidos por meio da secagem por atomização

Os pós alimentícios são estruturas amorfas que se caracterizam por apresentar uma forte reatividade físico-química e enzimática; fazendo-se necessário o controle da formulação e das condições ambientais a fim de manter estabilidade destes produtos ao armazenamento. Suas estruturas complexas contribuem com o comportamento de adsorção das micropartículas, tais como a aglomeração, solubilização e dispersão (CANO-HIGUITA et al., 2015; CUQ; RONDET; ABECASSIS, 2011).

Muitas pesquisas têm se dedicado ao estudo da estabilidade físico-química dos sucos atomizados. Daza et al. (2016) avaliando a estabilidade do extrato de cagaita atomizado reportam uma perda maior de 25% no teor de compostos fenólicos ao final do armazenamento a 30°C em 32,8% de umidade relativa por 120 dias. Moraga et al. (2012) estudando a estabilidade de compostos bioativos

presentes em toranja atomizada relatam perdas significativas destes compostos a partir do sexto mês de armazenamento em umidade relativa de 23%. Fang; Bhandari (2011) analisando a estabilidade de compostos fenólicos e antocianinas em suco de amora atomizado, concluíram que o pó de amora deve ser armazenado a uma temperatura abaixo de 25°C e atividade de água de 0.33 para obter maior estabilidade dos compostos bioativos.

Apesar de serem considerados estáveis ao armazenamento, e demonstrar benefícios ao manuseio e transporte, por causa de sua natureza química, estudos demonstram que os pós alimentícios são sensíveis as variações de umidade, pressão, conteúdo de água e temperatura (FERNANDES; BORGES; BOTREL, 2014; FERRARI et al., 2013; CUQ; RONDET; ABECASSIS, 2011).

#### 4.1 Isotermas de sorção

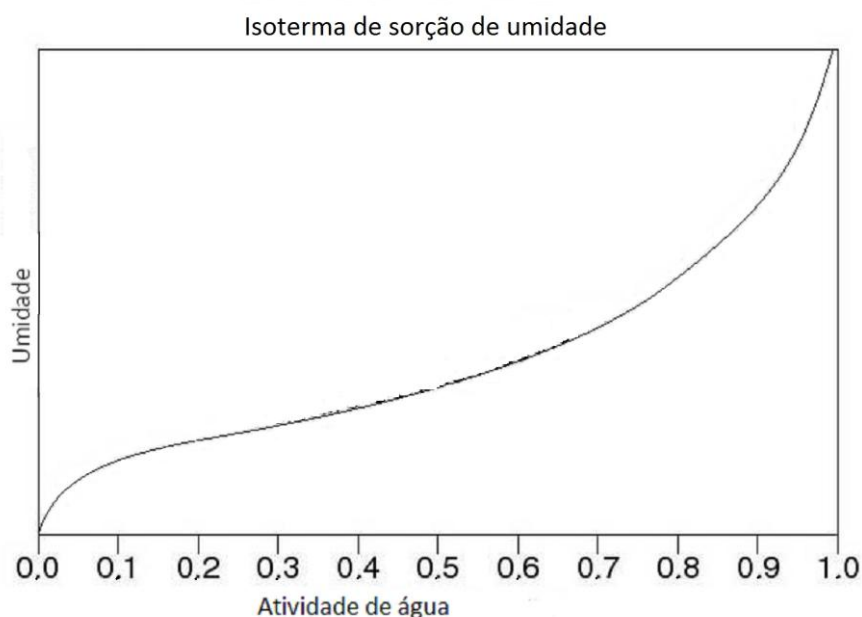
Uma vez que a água exerce grande influência na conservação dos alimentos, propriedades tais como teor de umidade e atividade de água são determinantes para a estabilidade de pós produzidos por meio da secagem por atomização. O teor de umidade é definido como o grau em que a água interage com os componentes químicos dos alimentos. Enquanto a atividade de água é definida como o grau de disponibilidade de água num determinado alimento (SANT'ANNA et al., 2014; PHISUT, 2012).

A relação entre a atividade de água e seu conteúdo de umidade de equilíbrio correspondente, numa determinada temperatura, configura-se como uma curva sigmoideal, denominada isotermas de sorção (Figura VI) (SORMOLI; LANGRISH, 2015; FERNANDES; BORGES; BOTREL, 2014; SANT'ANNA et al., 2014; STAUDT et al., 2013; CATELAM; TRINDADE; ROMERO, 2011; ROOS, 1995). As informações sobre as isotermas de sorção são de grande importância para compreender as interações entre a água e os componentes não aquosos presentes nos pós, uma vez que as isotermas de sorção ajudam a prever a quantidade de água que será absorvida por um material quando exposto ao ar, numa certa umidade relativa (MUZAFFAR; KUMAR, 2016; CANO-HIGUITA et al., 2015; SORMOLI; LANGRISH, 2015; SANT'ANNA et al., 2014).

A determinação das isotermas de sorção é bastante útil para calcular o consumo de tempo e energia durante a secagem, prever o comportamento do pó

durante o manuseio, auxiliar a seleção de embalagens, modelar alterações de umidade durante o armazenamento e determinar a vida de prateleira dos produtos (MUZAFFAR; KUMAR, 2016; CANO-HIGUITA et al., 2015; SORMOLI; LANGRISH, 2015; CARTER; SCHMIDT, 2012; CATELAM; TRINDADE; ROMERO, 2011).

**Figura VI** – Isoterma de sorção



Fonte: a autora (2016).

A técnica gravimétrica é o método mais comum para determinar as isotermas de sorção de pós, sendo amplamente utilizado em diversos estudos. Esta técnica envolve o uso de soluções saturadas de sais em diferentes concentrações, mantendo um ambiente com uma determinada umidade controlada, onde as amostras são colocadas dentro de vidros hermeticamente fechados sob uma condição de temperatura fixa. As amostras são mantidas nestes frascos até atingirem o equilíbrio termodinâmico com a atmosfera circundante (CANO-HIGUITA et al., 2015; SORMOLI; LANGRISH, 2015; ÇAM; IÇYER; ERDOĞAN, 2014; FERNANDES, BORGES, BOTREL 2014; ZHOU et al., 2014; CARTER; SCHMIDT, 2012; TONON et al., 2009).

As isotermas de sorção são geralmente descritas por modelos matemáticos baseados em critérios empíricos ou teóricos. Existem vários modelos matemáticos que podem ser aplicados ao estudo das isotermas de sorção, no

entanto, os modelos BET (Brunauer-Emmett-Teller), GAB (Guggenheim-Andersen-de Boer), Halsey e Oswin têm sido os mais aplicados em estudos de estabilidade de sucos atomizados (MUZAFFAR; KUMAR, 2016; WANG et al., 2013; TONON et al., 2009).

A literatura reporta o estudo das isotermas de sorção para avaliar a estabilidade das micropartículas formadas por secagem por atomização. Fernandes; Borges e Botrel (2014) avaliando a estabilidade do pó de óleo essencial de alecrim produzido com maltodextrina, goma arábica, amido modificado e inulina, constataram a inulina como potencial agente encapsulante do material de estudo. Catelam; Trindade e Romero (2011) estudaram as isotermas de sorção de suco de maracujá atomizado comparando o comportamento de pós produzidos com maltodextrina e goma arábica, e recomendam o uso de maltodextrina na secagem por atomização de polpa de maracujá, uma vez que não houve diferença significativa entre os conteúdos de umidade de equilíbrio de ambas as amostras. Çam; İçyer e Erdoğan (2014) estudando a estabilidade de polifenóis presentes no pó da casca de romã, não observaram diferenças significativas no conteúdo destes fitoquímicos quando o pó foi armazenado a 4°C por um período de 90 dias. Fabra et al. (2011) investigando a relação entre o conteúdo de água e a transição vítrea de suco de noni atomizado constataram um aumento na atividade de água crítica durante o armazenamento do pó de noni a 25°C quando a relação entre maltodextrina/polpa de noni foi maior que 1:3.

#### 4.2 Temperatura de transição vítrea

Outra ferramenta termodinâmica utilizada para prever a estabilidade ao armazenamento de alimentos, em especial dos pós produzidos por meio da secagem por atomização, é a temperatura de transição vítrea (SORMOLI; LANGRISH, 2015; CARTER; SCHMIDT, 2012).

A noção de transição vítrea foi introduzida na década de 1990, para fornecer uma melhor compreensão da temperatura do ponto pegajoso de alimentos. Esta transição caracteriza-se pela mudança de um estado vítreo para um estado borrachoso. Desta forma, a temperatura de transição vítrea ( $T_g$ ) é definida como a temperatura na qual um sistema amorfo muda do estado vítreo

para o estado pegajoso, e caracteriza-se por relacionar as propriedades físicas de materiais amorfos com a temperatura e teor de umidade do ambiente (ISLAM et al. 2016; FERNANDES; BORGES; BOTREL, 2014; CARTER; SCHMIDT, 2012; ADHIKARI et al., 2005).

A temperatura de transição vítrea controla algumas propriedades físico-químicas, tais como viscosidade, pegajosidade, aderência, colapso, cristalização, mobilidade molecular e aglomeração em pós produzidos por atomização (CANOHIGUITA et al., 2015; FERNANDES; BORGES; BOTREL, 2014; CARTER; SCHMIDT, 2012; MORAGA et al., 2012; FABRA et al., 2011).

Além disso, é considerada uma temperatura de referência, uma vez que quando armazenado numa temperatura abaixo da Tg espera-se que o alimento esteja estável, e quando armazenado acima da Tg, a diferença entre a Tg e a temperatura de estocagem é que controla a velocidade das alterações físicas, químicas e biológicas do alimento (FERNANDES; BORGES; BOTREL, 2014; FABRA et al., 2011; TONON et al., 2009; ADHIKARI et al., 2005).

Um aparelho termodinâmico bastante utilizado para determinar a Tg é o equipamento de calorimetria exploratória diferencial (DSC). No DSC o conteúdo de energia necessário para manter a temperatura da amostra quando submetida a um aumento na temperatura é registrado e a mudança de fase é identificada pela mudança na capacidade calorífica da amostra (FERNANDES; BORGES; BOTREL, 2014; CARTER; SCHMIDT, 2012; ROOS, 1995).

A literatura reporta nos estudos de estabilidade de pós obtidos por atomização a importância da determinação da temperatura de transição vítrea para o controle do processamento e armazenamento. Fernandes, Borges e Botrel (2014) avaliando a influência de diferentes agentes carreadores na temperatura de transição vítrea de óleo essencial de alecrim relatam valores para esta determinação entre 80,6°C e 100,4°C. Estudando a estabilidade de pitaia vermelha e branca em pó armazenados em diferentes umidades relativas, Lee, Wu e Siouw (2013) reportam valores para a temperatura de transição vítrea entre  $-16.1 \pm 1^\circ\text{C}$  e  $25.5 \pm 0.3^\circ\text{C}$ . Fang e Bhandari (2011) estudando a estabilidade de suco de *bayberry* atomizado armazenado em diferentes atividades de água observaram uma redução na temperatura de transição vítrea com o aumento da  $a_w$  de armazenamento. Em estudo realizado com suco de açaí atomizado produzido com diferentes agentes carreadores, a determinação da temperatura de

transição vítrea foi utilizada para determinar a estabilidade deste produto (TONON et al., 2009). Ainda segundo estes autores, a temperatura de transição vítrea variou entre  $-56.62 \pm 0.63^{\circ}\text{C}$  e  $74.37 \pm 0.34^{\circ}\text{C}$  a depender do agente carreador e da atividade de água onde o produto foi armazenado.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADHIKARI, B.; HOWES, T.; LECOMTE, D.; BHANDARI, B.R. A glass transition temperature approach for the prediction of the surface stickiness of a drying droplet during spray drying. **Powder Technology**, v. 149, p. 168–179, 2005.

AFOAKWAH A. N.; ADOMAKO C.; OWUSU .J.; ENGMAN N. F.; HANNAH A. Spray Drying as an appropriate technology for the food and pharmaceutical industries A review. **Journal of Environmental Science, Computer Science and Engineering & Technology**, v. 1, p. 467-476, 2012.

AHMED, M.; AKTER, M. S.; LEE, J.; EUN, J. Encapsulation by *spray drying* of bioactive components, physicochemical and morphological properties from purple sweet potato. **Food Science and Technology**, v. 43, p. 1307 - 1312, 2010.

ALMEIDA, M. M. B.; SOUSA, P. H. M.; ARRIAGA, A. M. C.; PRADO, G. M.; MAGALHÃES, C. E. C.; MAIA, G. A.; LEMOS, T. L. G. Bioactive compounds and antioxidant activity of fresh exotic fruits from northeastern Brazil. **Food Research International**, v. 44, p. 2155–2159, 2011.

AMORIM-CARRILHO, K. T.; CEPEDA, A.; FENTE, C.; REGAL, P. Review of methods for analysis of carotenoids. **Trends in Analytical Chemistry**, v. 56, p. 49–73, 2014.

ANUÁRIO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA 2015. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta, 2015. 104 p.

AUGUSTO, P. E. D.; CRISTIANINI, M.; IBARZ, A. Effect of temperature on dynamic and steady-state shear rheological properties of siriguela (*Spondias purpurea* L.) pulp. **Journal of Food Engineering**, v. 108, p. 283–289, 2012.

BHUSARI, S. N.; MUZAFFAR, K.; KUMAR, P. Effect of carrier agents on physical and microstructural properties of spray dried tamarind pulp powder. **Powder Technology**, v. 266, p. 354–364, 2014.

BICAS, J.L.; MOLINA, G.; DIONISIO, A.P.; BARROS, F.F.C.; WAGNER, R.; MAROSTICA JR.; M.R.; PASTORE, G.M. Volatile constituents of exotic fruits from Brazil. **Food Research International**, v. 44, p. 1843–1855, 2011.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Políticas de Saúde. **Alimentos regionais brasileiros**. Brasília, 2002. 140 p.

CALISKAN, G.; DIRIM, S. N. Effects of the different drying conditions and the amounts of maltodextrin addition during spray drying of sumac extract. **Food and Bioproducts Processing**, v. 411, p. 1-10, 2013.

CANO-HIGUITA, D. M.; VILLA-VÉLEZ, H. A.; TELIS-ROMERO, J.; VÁQUIRO, H. A.; TELIS, V R.N. Influence of alternative drying aids on water sorption of spray dried mango mix powders: A thermodynamic approach. **Food and Bioproducts Processing**, v. 93, p.19–28, 2015.

CARVALHO, J. M.; MAIA, J. A.; FONSECA, A. V. V.; RODRIGUES, P. H. M. S. S. Effect of processing on physicochemical composition ,bioactive compounds and enzymatic activity of yellow mombin (*Spondias mombin* L.) tropical juice. **Journal Food Science Technology**, v. 52, p.1182–1187, 2015.



CARTER, B. P.; SCHMIDT, S. J. Developments in glass transition determination in foods using moisture sorption isotherms. **Food Chemistry**, v. 132, p. 1693–1698, 2012.

CATELAM, K. T.; TRINDADE, C. S. F.; ROMERO, J. T. Water adsorption isotherms and isosteric sorption heat of spray-dried and freeze-dried dehydrated passion fruit pulp with additives and skimmed milk. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1196-1203, 2011.

CONTRERAS-CALDERÓN, J.; CALDERÓN-JAIMES, L.; GUERRA-HERNÁNDEZ, E.; GARCÍA-VILLANOVA, B. Antioxidant capacity, phenolic content and vitamin C in pulp, peel and seed from 24 exotic fruits from Colombia. **Food Research International**, v. 44, p. 2047–2053, 2011.

CUQ, B.; RONDET, E.; ABECASSIS, J.; Food powders engineering, between knowhow and science: constraints, stakes and opportunities. **Powder Technology**, v. 208, p. 244–251, 2011.

ÇAM, M.; İÇYER, N. C.; ERDOĞAN, F. Pomegranate peel phenolics: Microencapsulation, storage stability and potential ingredient for functional food development. **Food Science and Technology**, v. 55, p. 117-123, 2014.

DAZA, L. D.; FUJITA, A.; FÁVARO-TRINDADE, C.S.; RODRIGUES-RACT, J. N.; GRANATO, D.; GENOVESE, M. I. Effect of spray drying conditions on the physical properties of Cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.) fruit extracts. **Food and Bioproducts Processing**, v. 97, p. 20-29, 2016.

DIAS, M. G.; CAMÕES, M. F. G.F.C.; OLIVEIRA, L. Carotenoid stability in fruits, vegetables and working standards – Effect of storage temperature and time. **Food Chemistry**, v.156, 37–41, 2014.

DENEV, P.; KRATCHANOVA, M.; CIZ, M.; LOJEK, A.; VASICEK, O.; NEDELICHEVA, P.; BLAZHEVA, D.; TOSHKOVA, R.; GARDEVA, E.; YOSSIFOVA, L.; HYRSL, P.; VOJTEK, L. Biological activities of selected polyphenol-rich fruits related to immunity and gastrointestinal health. **Food Chemistry**, v.157, p. 37–44, 2014.

DU, J.; CULLEN, J. J.; BUETTNER, G, R. Ascorbic acid: Chemistry, biology and the treatment of cancer. **Biochimica et Biophysica Acta**, v. 1826, p. 443–457, 2012.

ENGELS, C.; GRÄTER, D.; ESQUIVEL, P.; JIMÉNEZ, V. M.; GÄNZLE, M. G.; SCHIEBER, A.; Characterization of phenolic compounds in jocote (*Spondias purpurea* L.) peels by ultra high-performance liquid chromatography/electrospray ionization mass spectrometry. **Food Research International**, v. 46, p. 557–562, 2012.

FABRA M. J. A; MÁRQUEZ, E. B; CASTRO, D. C; CHIRALT, A. Effect of maltodextrins in the water-content–water activity–glass transition relationships of noni (*Morinda citrifolia* L.) pulp powder. **Journal of Food Engineering**, v.103, p. 47–51, 2011.

FANG, Z.; BHANDARI, B.; Effect of *spray drying* and storage on the stability of bayberry polyphenols. **Food Chemistry**, v. 129, p. 1139–1147, 2011.

FANG, Z.; BHANDARI, B. Comparing the efficiency of protein and maltodextrin on spray drying of bayberry juice. **Food Research International**, v.48, p. 478–483, 2012.

FENNEMA, O. R.; DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; **Química de Alimentos de Fennema**. Artmed. 4ª Ed., 2010.

FERNANDES, V. B.; BORGES, S. V.; BOTREL, D. A. Gum arabic/starch/maltodextrin/inulin as wall materials on the microencapsulation of rosemary essential oil. **Carbohydrate Polymers**, v. 101, p. 524–532, 2014.

FERRARI, C. C.; RIBEIRO, C. P.; AGUIRRE, J. M.; *Spray drying* of blackberry pulp using maltodextrin as carrier agent. **Brazilian Journal Food Technology**, v. 15, p. 157-165, 2012.

FERRARI, C. C.; SILVIA, PIMENTEL, M. G., ALVIM, I. D.; AGUIRRE, J. M. Storage stability of spray-dried blackberry powder produced with maltodextrin or gum arabic. **Drying Technology**, v. 31, p. 470–478, 2013.

FILGUEIRAS, H. A. C. **Geração de técnicas de conservação pós-colheita para valorização do cultivo de cajá e ciriguela no Estado do Ceará**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2001. 47 p.

GABRIEL, A. A.; CAYABYAB, J. E. C.; TAN, A. K. L.; COROOK, M. L. F.; ABLES, E. J. O.; TIANGSON-BAYAGA, C. L. P. Development and validation of a predictive model for the influences of selected product and process variables on ascorbic acid degradation in simulated fruit juice. **Food Chemistry**, v. 177, p. 295–303, 2015.

GHARSALLAOUI, A.; ROUDAUT, G.; CHAMBIN, O.; VOILLEY, A.; SAUREL, R. Applications of *spray-drying* in microencapsulation of food ingredients: An overview. **Food Research International**, v. 40, p. 1107–1121, 2007.

GIUFFRIDA, D.; DUGO, P.; TORRE, G.; BIGNARDI, C.; CAVAZZA, A.; CORRADINI, C.; DUGO, G. Evaluation of carotenoid and capsaicinoid contents in powder of red chili peppers during one year of storage **Food Research International**, v. 65, p. 163–170, 2014.

GIUFFRIDA, D.; MENCHACA, D. A.; DUGO, P.; TORRE, G.; MELÉNDEZ-MARTINEZ, A. J.; MONDELLO, L. Native carotenoids composition of some tropical fruits Enrique Murillo. **Food Chemistry**, v. 140, p. 825–836, 2013.

ISLAM, M. Z.; KITAMURA, Y.; YAMANO, Y.; KITAMURA, M. Effect of vacuum spray drying on the physicochemical properties water sorption and glass transition phenomenon of orange juice powder. **Journal of Food Engineering**, v. 169, p. 131-140, 2016.

KHA, T. C.; NGUYEN, M. H.; ROACH, P. D. Effects of *spray drying* conditions on the physicochemical and antioxidant properties of the Gac (*Momordica cochinchinensis*) fruit aril powder. **Journal of Food Engineering**, v. 98, p. 385-392, 2010.

LIRA JÚNIOR, J. S.; BEZERRA, J. E. F.; LEDERMAN, L. E.; MOURA, R. J. M. Produção e características físico-químicas de clones de ciriguela na Zona da Mata Norte de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 5, p. 43-48, 2010.

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

MALDONADO-ASTUDILLO, Y. I.; ALIA-TEJACAL, I.; NÚÑEZ-COLÍN, C. A.; JIMÉNEZ-HERNÁNDEZ, J.; PELAYO-ZALDÍVAR C.; LÓPEZ-MARTÍNEZ, V.; ANDRADE-RODRÍGUEZ, M.; BAUTISTA-BANOS, S.; VALLE-GUADARRAMA, S. Postharvest physiology and technology of *Spondias purpurea* L. and *S. mombin* L. **Scientia Horticulturae**, v. 174, p. 193–206, 2014.

MISHRA, P.; MISHRA, S.; MAHANTA, C. L. Effect of maltodextrin concentration and inlet temperature during spray drying on physicochemical and antioxidant properties of amla (*Emblica officinalis*) juice powder. **Food and Bioproducts Processing**, v. 92, p. 252–258, 2014

MORAGA G. A.; IGUAL, M. A.; GARCÍA-MARTÍNEZ, E.; MOSQUERA, L. H.; MARTÍNEZ-NAVARRETE, N. Effect of relative humidity and storage time on the bioactive compounds and functional properties of grapefruit powder. **Journal of Food Engineering**, v. 112, p. 191–199, 2012.

MUZAFFAR, K.; KUMAR, P. Moisture sorption isotherms and storage study of spray dried tamarind pulp powder. **Powder Technology**, v. 291, p. 322-327, 2016.

MURILLO, E.; MELÉNDEZ-MARTÍNEZ, A.; J.; PORTUGAL, F. Screening of vegetables and fruits from Panama for rich sources of lutein and zeaxanthin. **Food Chemistry**, v. 122, p. 167–172, 2010.

NAZZARO, F.; ORLANDO, P.; FRATIANNI, F.; COPPOLA, R.; Microencapsulation in food science and biotechnology. **Current Opinion in Biotechnology**, v. 23, p. 82–186, 2012.

OMENA, C. M. B.; VALENTIM, I. B.; GUEDES, G. S.; RABELO, L. A.; MANO, C. M.; BECHARA, E. J. H.; SAWAYA, A. C. H. F.; TREVISAN, M. T. S.; COSTA, J. G.; FERREIRA, R. C. S.; SANT'ANA, A. E. G.; GOULART, M. O. F. Antioxidant, anti-acetylcholinesterase and cytotoxic activities of ethanol extracts of peel, pulp and seeds of exotic Brazilian fruits. **Food Research International**, v. 49, p. 334–344, 2012.

OROIAN, M.; ESCRICHE, I. Antioxidants: Characterization, natural sources, extraction and analysis. **Food Research International**, v. 74, p. 10-36, 2015.

PENG Z.; LI, J.; GUAN, Y.; ZHAO, G. Effect of carriers on physicochemical properties, antioxidant activities and biological components of *spray-dried* purple sweet potato flours. **Food Science and Technology**, v. 51, p. 348-355, 2013.

PHISUT, N. Spray drying technique of fruit juice powder: some factors influencing the properties of product. **International Food Research Journal**, v. 19, p. 1297-1306, 2012.

POSHADRI, A.; KUNA, A. Microencapsulation technology: a review. **Journal of Research ANGRAU**, v. 38, p. 86-102, 2010.

RAMÍREZ, M. J; GIRALDO, G. I.; ORREGO, C. O. Modeling and stability of polyphenol in spray-dried and freeze-dried fruit encapsulates. **Powder Technology**, v. 277, p. 89–96, 2015.

ROOS, Y.H. **Phase Transitions in foods**. Academic Press: San Diego, 1995.

SAMPAIO, S. A.; PUSHKAR, S.B.; HEINZ, J. H. Postharvest respiration and maturation of some lesser-known exotic fruits from Brazil – ciriguela (*Spondias purpurea* L.). **Revista Ceres**, v. 55, p. 141-145, 2008.

SANSONE, F.; MENCHERINI, T.; PICERNO, C.; D'AMORE, M.; AQUINO, R. P.; LAURO, M. R. Maltodextrin/pectin microparticles by spray drying as carrier for nutraceutical extracts. **Journal of Food Engineering**, v. 105, p. 468–476, 2011.

SANT'ANNA, V.; ENGLERT, A. H.; CORRÊA, A. P. F.; BRANDELLI, A.; MARCZAK, L. D. F.; TESSARO, I. C. Grape Marc Powder: Physicochemical and Microbiological Stability during storage and moisture sorption isotherm. **Food Bioprocess Technology**, v. 7, p. 2500–2506, 2014.

SANTHALAKSHMY, S.; BOSCO, S. J. D.; FRANCIS, S., SABEENA, M. Effect of inlet temperature on physicochemical properties of spray-dried jamun fruit juice powder. **Powder Technology**, v. 274, p. 37–43, 2015.

SILVA, Q. J.; MOREIRA, A. C. G.; MELO, E. A.; LIMA, V. L. A. G. Compostos fenólicos e atividade antioxidante de genótipos de ciriguelas (*Spondia purpurea* L.). **Alimentos e Nutrição**, v. 23, p. 73-80, 2012.

SILVA, P. I.; STRINGHETA, P. C.; TEÓFILO, R. F.; OLIVEIRA, I. R. N. Parameter optimization for spray-drying microencapsulation of jaboticaba (*Myrciaria jaboticaba*) peel extracts using simultaneous analysis of responses. **Journal of Food Engineering**, v. 117, p. 538–544, 2013.

SORMOLI, M. E.; LANGRISH, T. Moisture sorption isotherms and net isosteric heat of sorption for spray-dried pure orange juice powder. **Food Science and Technology**, v. 62, p. 875–882, 2015.

STAUDT, P.B.; KECHINSKI,C.P.; TESSARO,I.C.; MARCZAK, L.D.F.; SOARES, R.P., CARDOZO, N.S.M. A new method for predicting sorption isotherms at different temperatures using the BET model. **Journal of Food Engineering**, v.114, p. 139–145, 2013.

TABELA BRASILEIRA DE COMPOSIÇÃO DE ALIMENTOS (TACO)/ NEPA – UNICAMP. Campinas.161 p, 4° ed., 2011.

TAKEITI, C. Y.; KIECKBUSCH, T. G.; COLLARES-QUEIROZ, F.P. Morphological and physicochemical characterization of commercial maltodextrins with different degrees of dextrose-equivalent. **International Journal of Food Properties**, v. 13, p. 411-425, 2010.

TODISCO, M. K.; COSTA, J. M. C. da; RODRIGUES, S.; CLEMENTE, E. Microencapsulation of Red Mombin (*Spondias Purpurea* L.) pulp using spray-drying. **International Journal of Sciences**, v. 2, p. 6-11, 2013.

TODISCO, K. M.; CASTRO-ALVES, C. C. C.; GARRUTI, D. S.; COSTA, J. M. C.; CLEMENTE, E. The Use of Headspace Solid-Phase Microextraction (HS-SPME) to Assess the Quality and Stability of Fruit Products: An Example Using Red Mombin Pulp (*Spondias purpurea* L.). **Molecules**, v.19, p. 16851-16860, 2014.

TONON, R. V.; BRABET, C.; HUBINGER, M. D. Influence of process conditions in the physicochemical properties of açai (*Euterpe oleraceae* Mart.) powder produced by spray drying. **Journal of Food Engineering**, v. 88, p. 411–418, 2008.

TONON, R. V.; BARONI, A. F.; BRABET, C.; GIBERT, O.; PALLET, D.; HUBINGER, M. D. Water sorption and glass transition temperature of spray dried açai (*Euterpe oleracea* Mart.) juice. **Journal of Food Engineering**, v. 94, p. 215–221, 2009.

TONON, R.V., BRABET, C., RUBINGER, M.D., Anthocyanin stability and antioxidant activity of spray-dried açai (*Euterpe oleracea* Mart.) juice produced with different carrier agents. **Food Research International**, v. 43, p. 907–914, 2010.

TRUONG, V.; BHANDARI, B. R.; HOWES, T. Optimization of co-current spray drying process of sugar-rich foods: Part I – Moisture and glass transition temperature profile during drying. **Journal of Food Engineering**, v. 71, p. 55–65, 2005.

VALENTE, A.; ALBUQUERQUE, T. G.; SANCHES-SILVA, A.; COSTA, H. S. Ascorbic acid content in exotic fruits: A contribution to produce quality data for food composition databases **Food Research International**, v. 44, p. 2237–2242, 2011.

WISUTIAMONKUL, A.; PROMDANG, S.; KETSA, S.; VAN, W. G. Doorn Carotenoids in durian fruit pulp during growth and postharvest ripening. **Food Chemistry**, v.180, p. 301–305, 2015.

ZAREIFARD, M. R.; NIAKOUSARI, M.; SHOKROLLAHI, Z.; JAVADIAN, S.; A Feasibility Study on the Drying of Lime Juice: The Relationship between the Key Operating Parameters of a Small Laboratory Spray Dryer and Product Quality. **Food Bioprocess Technology**, v. 5, p. 1896–1906, 2012.

## ARTIGO – ESTUDO DA ESTABILIDADE DO SUCO DE CIRIGUELA ATOMIZADO

### RESUMO

O suco de ciriguela (*Spondias purpurea* L.) foi atomizado com maltodextrina (10DE) e armazenado com o objetivo de estudar a sua estabilidade. O suco de ciriguela atomizado foi armazenado por 90 dias em três atividades de água ( $a_w$  0,1, 0,2 e 0,3) a 25°C. Os valores para atividade de água e umidade em todas as condições estudadas foram considerados seguros para alimentos secos. O suco armazenado em  $a_w$  0,2, ao final dos 90 dias de armazenamento apresentou as menores perdas de compostos bioativos (ácido ascórbico, carotenóides e fenólicos totais), a menor diferença de cor e maior temperatura de transição vítrea. A modelagem GAB apresentou melhor ajuste na determinação das isotermas de sorção do suco de ciriguela atomizado. Os resultados indicam que a condição de armazenamento em  $a_w$  0,2 à 25°C possibilita maior estabilidade do suco de ciriguela atomizado, mantendo as características estudadas mais estáveis durante os 90 dias de armazenamento.

**Palavras-chave:** atomização; fitoquímicos bioativos; armazenamento, transição vítrea; isotermas de sorção.

## ABSTRACT

The red mombin fruit juice (*Spondias purpurea* L.) was atomized with maltodextrin (10DE) and stored in order to study its stability. The atomized red mombin fruit juice was stored for 90 days in three activity water ( $a_w$  0.1, 0.2 and 0.3) at 25°C. The values for water activity and moisture in all storage conditions were considered safe for dry food. The juice stored in  $a_w$  0.2 at the end of 90 days of storage showed lesser loss of bioactive compounds (ascorbic acid, carotenoids and phenolic), the smallest color difference and higher glass transition temperature. The GAB modeling showed better adjustment in determining the sorption isotherms of atomized red mombin fruit juice. The results indicate that the storage condition  $a_w$  0.2 at 25°C allows greater stability of the atomized red mombin fruit juice, maintaining the characteristics studied more stable during 90 days of storage.

**Keywords:** atomization; phytochemical bioactive; storage, glass transition; sorption isotherms.

## 1. Introdução

A ciriguela (*Spondias purpurea* L.) também conhecida como ceriguela, siriguela, cajá vermelho, jocote, é uma fruta endêmica das regiões semiáridas do Brasil, bastante consumida na região Nordeste do país. Caracteriza-se por apresentar uma excelente qualidade sensorial, além de ser considerada rica em compostos fenólicos de interesse biológico. No entanto, seu curto período de colheita e alta perecibilidade dificultam a disponibilidade desta fruta durante todo o ano. Esta fruta apresenta ótimas perspectivas para objetivos comerciais por meio da aplicação de técnicas de processamento pós-colheita, a fim de estender a vida de prateleira, reduzir as perdas e agregar valor ao produto final (TODISCO; COSTA; CLEMENTE, 2015; TODISCO et al., 2013).

Várias técnicas têm sido utilizadas para estender a vida de prateleira de frutas por meio da remoção da umidade e redução da atividade de água, dentre as quais, destaca-se, a secagem por atomização (*spray dryer*). A secagem por atomização consiste na aplicação de uma energia sob um líquido ou suspensão, resultando em um produto em pó, o qual apresenta um estado físico mais estável. Desta forma, os sucos de fruta em pó são considerados materiais valiosos em termos de manuseio, aplicação, transporte, embalagem, armazenamento e vida de prateleira, em comparação com suas formas líquidas (ISLAM et al., 2016; MUZAFFAR; KUMAR, 2016; FANG; BHANDARI, 2011).

Apesar de serem considerados produtos mais estáveis, a rápida remoção do teor de água durante a secagem por atomização resulta em um produto com matriz vítrea amorfa e bastante higroscópica. Logo, a estabilidade de sucos atomizados está diretamente relacionada à umidade e temperatura ambiente. Quando não bem controladas, as condições de armazenamento provocam uma mudança de fase do estado vítreo para um estado pegajoso, além de ocasionar alterações na coloração, acelerar reações químicas e enzimáticas, levando a perdas na funcionalidade do produto (ISLAM et al., 2016; MUZAFFAR; KUMAR, 2016; MORAGA et al., 2012).

As isotermas de sorção e a temperatura de transição vítrea são ferramentas bastante utilizadas para prever a estabilidade ao armazenamento de produtos secos. As isotermas de sorção descrevem a relação entre a atividade de água e a umidade de equilíbrio de um produto alimentício em uma determinada



temperatura. Logo, são utilizadas para determinar a interação entre a água e os componentes do alimento, ou seja, predizem o quanto de água um alimento é capaz de absorver quando exposto a uma determinada umidade relativa (ISLAM et al. 2016; MUZAFFAR; KUMAR, 2016; SANT'ANNA et al., 2014; MORAGA et al., 2012; TONON et al. 2009).

A temperatura de transição vítrea ( $T_g$ ) é definida como a temperatura na qual um sistema amorfo muda do seu estado vítreo para um estado borrachoso. Uma vez que a  $T_g$  controla propriedades físico-químicas como, viscosidade, aderência e aglomeração. Esta ferramenta vem sendo bastante utilizada como parâmetro de referência para caracterizar propriedades, qualidade e estabilidade de alimentos (ISLAM et al. 2016; FANG; BHANDARI, 2011; TONON et al. 2009).

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a estabilidade do suco de ciriguela atomizado durante o armazenamento, além de fornecer informações sobre as características de sorção deste produto por meio das isotermas de sorção à 25 °C. Foram avaliadas as influências do tempo e diferentes condições de armazenamento sob algumas propriedades físico-químicas do suco de ciriguela atomizado.

## **2. Materiais e métodos**

### **2.1 Obtenção e preparo da polpa de ciriguela**

Frutos de ciriguela no estágio maduro foram adquiridos no mês de Fevereiro de 2015, no Centro de Abastecimento e Logística de Pernambuco - CEASA/PE, localizado na cidade do Recife-PE. Os frutos foram transportados para o laboratório de Processamento de Alimentos, onde foram selecionados, higienizados, sanitizados com solução de hipoclorito de sódio (50ppm) e despulpados em despulpadeira (Bonina Compacta 46 Itabauna/BA). A polpa de ciriguela foi peneirada, embalada em sacos de polietileno e armazenada à -18 °C.

### **2.2 Secagem por atomização do suco de ciriguela**

A solução que foi introduzida no atomizador consistiu de suco de ciriguela numa proporção de 1:1 (polpa de ciriguela:água destilada) e agente carreador (Maltodextrina 10 DE), de modo a facilitar a passagem pelo bico atomizador. Esta

solução foi mantida sob agitação em um misturador (modelo TE 102-Tecnal, Brasil) para homogeneização antes da secagem.

Para a secagem em escala laboratorial foi utilizado um mini spray dryer (LM, modelo MSD 1.0, LABMAQ do Brasil LTDA), com bico injetor de 1,2 mm de diâmetro, fluxo de ar de 30 m<sup>3</sup>/h e pressão do ar de 0,6 bar. Baseado em estudo prévio, as condições operacionais ótimas para a secagem por atomização do suco de ciriguela foram 26% de maltodextrina 10 DE (*MOR-REX® 1910* - Corn Products, Mogi-Guaçu, Brasil), temperatura de ar de entrada 110°C e vazão 360 ml/h. Quando a temperatura de saída estava abaixo de 50°C, a amostra foi coletada.

### 2.3 Estudo da estabilidade

Três diferentes repetições de amostras de suco de ciriguela atomizado recém-preparado foram colocadas em vidros herméticos com diferentes atividades de água de 0,1, 0,2 e 0,3, as quais foram preparadas usando soluções saturadas de cloreto de lítio, acetato de potássio e cloreto de magnésio, respectivamente (GREENSPAN, 1977). Os vidros herméticos foram armazenados a 25°C ±1 °C. As amostras foram periodicamente analisadas (atividade de água, umidade, teor de ácido ascórbico, carotenóides totais, compostos fenólicos totais, determinação de cor, atividade antioxidante e transição vítrea) no tempo inicial (0) e após 30, 60 e 90 dias.

### 2.4 Análises das amostras

#### 2.4.1 Atividade de água (aw)

A atividade de água dos sucos de ciriguela atomizados foi determinada usando o medidor de atividade de água (AquaLab 4TE Series, Decagon, USA).

#### 2.4.2 Umidade

Os conteúdos de umidade (%) da solução de alimentação do atomizador e dos sucos atomizados foram determinados em balança infravermelha (MARTE, IDSO, Piracicaba/SP) a 105 °C/45 minutos e 105 °C/30 minutos, respectivamente.

#### 2.4.3 Ácido ascórbico

O teor de ácido ascórbico (AA) da solução de alimentação e dos sucos atomizados foi determinado por método titulométrico, utilizando 2,6 diclorofenol

indofenol (AOAC, 2006). Os resultados foram expressos em miligrama de ácido ascórbico por 100 gramas de amostra em base seca (mg AA/100g massa seca)

#### 2.4.4 Carotenóides totais

O teor de carotenóides totais da solução de alimentação e dos sucos atomizados foi determinado pelo método espectrofotométrico proposto por Rodriguez-Amaya (2001). O solvente extrator utilizado foi acetona, e os pigmentos transferidos para éter de petróleo. A leitura foi realizada a 450 nm em espectrofotômetro (Shimadzu, modelo UV 1650PC, Japão) e os resultados expressos em microgramas de equivalente de  $\beta$ -caroteno por grama de amostra em base seca ( $\mu\text{g } \beta\text{-caroteno/g}$  massa seca).

#### 2.4.5 Compostos fenólicos

Os compostos fenólicos foram extraídos em água mantidos sob agitação em agitador magnético (Fisatom, modelo 752, São Paulo) por 20 minutos e centrifugados (Cientec, modelo CT-6000R, São Paulo) a 4500 rpm/10 minutos, e este processo repetido três vezes. O teor de fenólicos totais da solução de alimentação e dos sucos atomizados foram determinados por método espectrofotométrico utilizando reagente Folin-Ciocalteu (Merck, Darmstadt, Germany), segundo metodologia descrita por Wettasinghe e Shahidi (1999). A absorvância foi registrada a 725 nm em espectrofotômetro (Shimadzu, modelo UV 1650PC, Japão). A quantificação dos fenólicos totais foi baseada em curva de calibração construída com ácido gálico (0 a 120  $\mu\text{g/ml}$ ) em comprimento de onda de 725 nm, e ambos os resultados expressos em miligramas em equivalente de ácido gálico por 100 gramas de amostra em base seca (mg EAG /100g massa seca).

#### 2.4.6 Atividade antioxidante

A capacidade de sequestrar o radical 2,2'-azino-bis-(3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico ( $\text{ABTS}^{\bullet+}$ ) foi determinada segundo o método descrito por RE et al. (1999). O radical  $\text{ABTS}^{\bullet+}$  foi gerado a partir da reação da solução aquosa de ABTS (7 mMol) com solução aquosa de persulfato de potássio (140 mMol), mantida ao abrigo da luz, em temperatura ambiente por 16h. Em seguida, a solução do radical foi diluída em etanol até obter absorvância de 0,700 nm, em comprimento de onda de 734 nm. Alíquotas de 150  $\mu\text{l}$  do extrato aquoso do suco

de ciriguela atomizado foi misturado com 5 ml da solução do ABTS<sup>•+</sup> e a absorbância medida após 6 minutos em espectrofotômetro (Shimadzu, modelo UV 1650PC, Japão) a 734 nm. Para a amostra controle foi utilizado água destilada no lugar da amostra. Os resultados foram expressos em: atividade de sequestro de ABTS (%) =  $[1-(A/A_0)] \times 100$ , onde A refere-se à absorbância da amostra e A<sub>0</sub> à absorbância controle (SANT'ANNA et al., 2014).

#### 2.4.7 Determinação de cor

A cor do suco de ciriguela atomizado foi determinada usando colorímetro (Minolta CR-400, Konica Minolta, Sensing Inc), calibrado com azulejo padrão branco, operando em sistema CIELAB (L\*a\*b\*), onde L\* indica variação entre claro e escuro, a\* indica variação de cor entre vermelho e verde, b\* indica variação de cor entre amarelo e azul. A diferença de cor ( $\Delta E$ ) entre as amostras foi calculada por meio da seguinte fórmula (KHA et al., 2015):

$$\Delta E = \sqrt{(L_0^* - L^*)^2 + (a_0^* - a^*)^2 + (b_0^* - b^*)^2}$$

onde, L\*<sub>0</sub>, a\*<sub>0</sub> e b\*<sub>0</sub> são os valores da amostra no tempo zero, e L\*, a\* e b\* os valores de cada amostra medidos com o tempo de armazenamento.

#### 2.4.8 Temperatura de transição vítrea (T<sub>g</sub>)

A temperatura de transição vítrea do suco de ciriguela atomizado foi determinada usando o equipamento de calorimetria exploratória diferencial (DSC-60, Shimadzu, Columbia, EUA). O gás utilizado foi nitrogênio (N<sub>2</sub>) numa taxa de 50 ml/minuto. Amostras pesando entre 4,5–5 mg foram analisadas em cadinhos de alumínio (Shimadzu, Columbia, EUA) hermeticamente selados. Um cadinho de alumínio foi usado como referência. A taxa de aquecimento foi de 10°C/minuto e a análise foi realizada numa faixa de temperatura de 30°C a 130°C. O termograma foi analisado entre o início (T<sub>gi</sub>) e final da transição (T<sub>gf</sub>), e a temperatura de transição vítrea (T<sub>g</sub>) foi calculada como a média entre estes valores.

#### 2.5 Determinação das isotermas de sorção

As isotermas de sorção foram determinadas por método gravimétrico. Nove soluções saturadas foram preparadas a fim de fornecer diferentes valores de

umidade relativa (Greenspan, 1977). Os sais utilizados e suas respectivas umidades relativas encontram-se na Tabela 1. Três repetições das amostras de suco de ciriguela atomizado foram colocadas em frascos de alumínio e acondicionadas em vidros herméticos contendo as soluções saturadas a  $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ . As amostras foram deixadas em equilíbrio por 3–4 semanas, e pesadas semanalmente até que não houvesse variação no peso (0,001 g). Para minimizar a interferência da umidade atmosférica sob o peso das amostras, o tempo de remoção, pesagem e acondicionamento no vidro hermético foi menor que 1 minuto. A umidade de equilíbrio foi determinada por secagem da amostra a  $105^{\circ}\text{C}$  em estufa (MARCONI, MA-035) até peso constante por 24 horas.

**Tabela 1** – Umidade relativa das soluções saturadas de sais selecionadas a  $25^{\circ}\text{C}$

Sal	Umidade Relativa (%)
Cloreto de lítio	11%
Acetato de potássio	22%
Cloreto de magnésio	33%
Carbonato de potássio	44%
Nitrato de magnésio	53%
Brometo de sódio	58%
Cloreto de estrôncio	71%
Cloreto de sódio	75%
Cloreto de potássio	84%

Para determinar as isotermas de sorção, a umidade de equilíbrio das amostras foi plotada em função da atividade de água correspondente a cada solução saturada. Os modelos matemáticos usados para descrever a relação entre a umidade de equilíbrio ( $X_e$ ) e a atividade de água ( $a_w$ ) são apresentados na Tabela 2 (Sant’Anna et al., 2014).

**Tabela 2** – Modelos matemáticos usados para descrever as isotermas de sorção

Nome da equação	Expressão matemática
GAB (Van den Berg, 1985)	$X_e = \frac{X_m C_{GAB} K_{GAB} a_w}{[(1 - K_{GAB} a_w)(1 - K_{GAB} a_w + C_{GAB} K_{GAB} a_w)]}$
Halsey (Halsey, 1948)	$a_w = \exp\left[\frac{-A}{X_e^B}\right]$
Oswin (Oswin, 1946)	$X_e = A \left(\frac{a_w}{1 - a_w}\right)^B$

A, B,  $C_{GAB}$ ,  $K_{GAB}$ , são constantes dos modelos matemáticos

Os dados foram analisados pelo software Origin Pro 8.5. O algoritmo de interação utilizado para realizar os ajustes aos modelos foi Levenberg Marquardt, e o modelo matemático mais ajustado foi definido em função do menor erro padrão de estimativa, do menor valor do percentual do erro médio absoluto (P) e do máximo valor do  $R^2$  ajustado ( $R^2_{adj}$ ).

## 2.6 Análise estatística

A análise estatística foi realizada para avaliar os efeitos da atividade de água e tempo de armazenamento sobre a estabilidade do suco de ciriguela atomizado. Os dados obtidos foram submetidos à Análise de variância (ANOVA – one-way) e comparados usando o teste de Duncan's pelo *software* Statistica 8.0 (StatSoft, Tulsa, EUA) ao nível de 5% de significância. Os resultados foram expressos como média  $\pm$  desvio padrão.

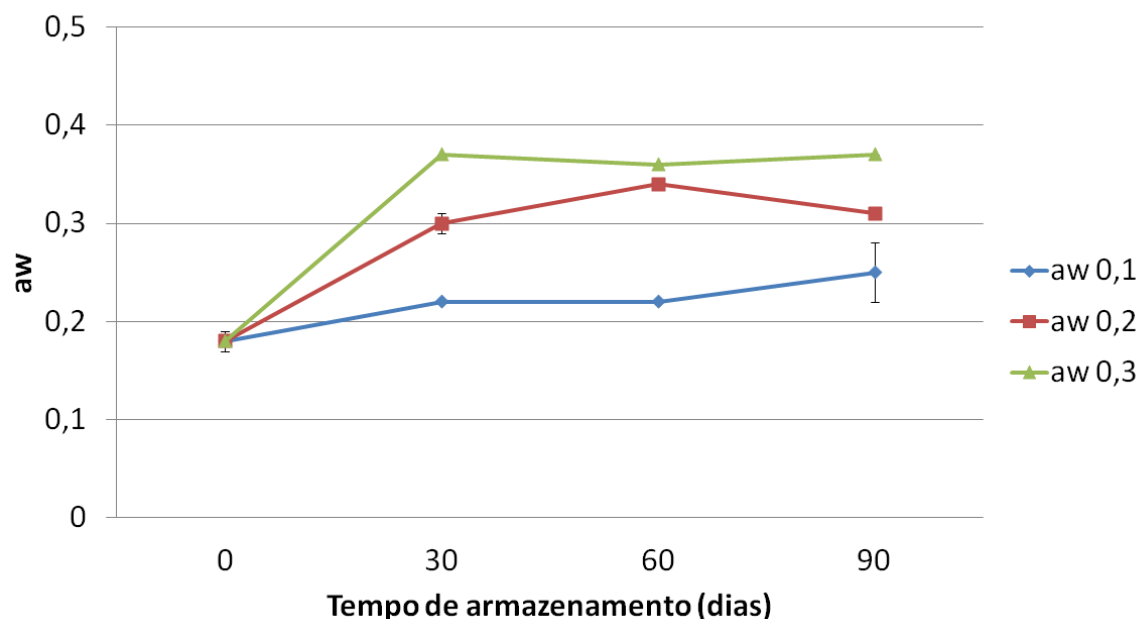
## 3. Resultados e discussão

### 3.1 Estudo da estabilidade do suco de ciriguela atomizado

#### 3.1.1 Atividade de água ( $a_w$ ) e umidade

A atividade de água e a umidade são parâmetros de grande importância no que diz respeito à qualidade e estabilidade de alimentos em pó (WANG; ZHOU, 2013; TONON et al., 2009). Neste estudo foram avaliados os comportamentos da atividade de água e da umidade em função do tempo e condição de armazenamento em  $a_w$  0,1, 0,2 e 0,3 (Figuras 1 e 2). A atividade de água inicial do suco de ciriguela atomizado foi de  $0,18 \pm 0,01$ . A atividade de água do suco de ciriguela atomizado não diferiu significativamente ( $p < 0,05$ ) entre os tempos de 30 e 90 dias quando armazenados em  $a_w$  0,2 e 0,3. A umidade inicial do suco de ciriguela atomizado foi de  $3,23\% \pm 0,15$ , e não diferiu significativamente ( $p < 0,05$ ) entre os tempos de 30 e 60 dias para as três condições de  $a_w$ . Em todos os tempos de armazenamento (30, 60 e 90 dias), os valores da atividade de água e umidade do suco de ciriguela atomizado diferiram significativamente entre si. O aumento da  $a_w$  de armazenamento provocou um aumento significativo ( $p < 0,05$ ) na atividade de água e na umidade dos sucos de ciriguela atomizados, no entanto, os maiores valores encontrados para a atividade de água e umidade do suco de ciriguela atomizado não ultrapassaram  $0,37 \pm 0,00$  e  $5,92\% \pm 0,40$ , respectivamente; valores considerados estáveis e seguros para alimentos secos.

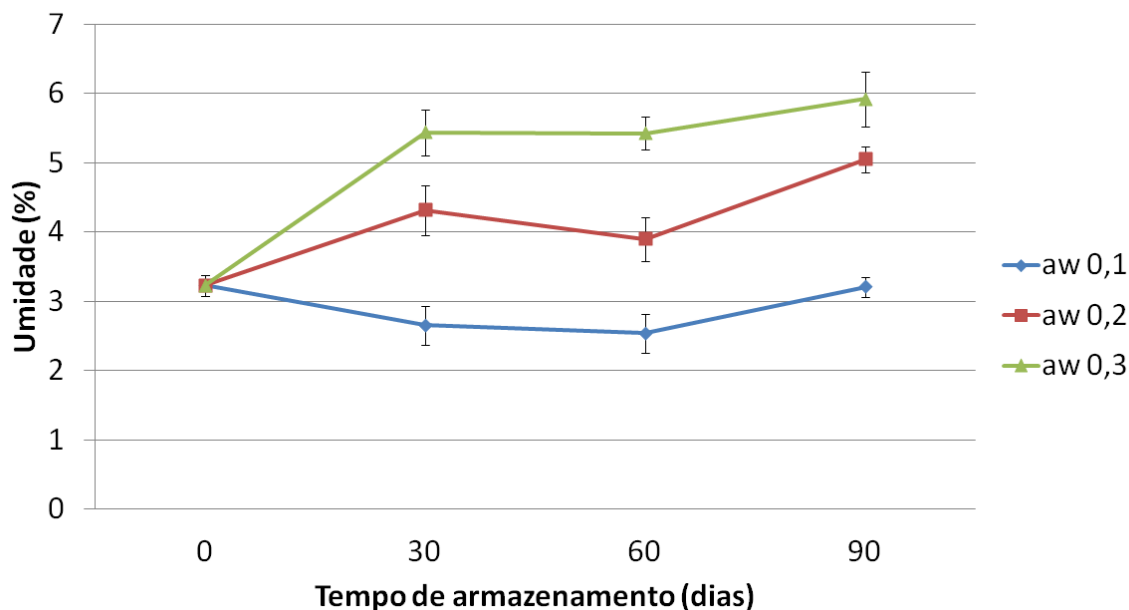
**Figura 1** – Efeito do tempo de armazenamento (30, 60, 90 dias) e da atividade de água (0,1, 0,2, 0,3) na atividade de água (aw) do suco de ciriguela atomizado armazenado a 25°C



O aumento da atividade de água e umidade de sucos atomizados durante o seu armazenamento provocam alterações em suas propriedades físicas, tais como mudanças na coloração, aumento da densidade aparente, da coesividade, da fluidez e da viscosidade (MUZAFFAR; KUMAR, 2016; LEE; WU; SIOW, 2013; MORAGA et al., 2012). Além disso, estudos indicam que reações de degradação de compostos fitoquímicos também são aceleradas pelo aumento da atividade de água e umidade destes produtos (MORAGA et al., 2012; FANG; BHANDARI, 2011).

O aumento da umidade e da atividade de água em função do tempo de armazenamento e da aw foi reportado em estudos de estabilidade de suco de tamarindo atomizado (MUZAFFAR; KUMAR, 2016) e suco de maracujá atomizado (COSTA et al., 2013), e morango chinês (*bayberry*) atomizado (FANG; BHANDARI, 2011) O aumento da umidade e da atividade de água também foi reportado em estudo sobre a estabilidade do suco de ciriguela atomizado armazenado em embalagens plásticas por 90 dias de armazenamento (TODISCO et al., 2013).

**Figura 2** – Efeito do tempo de armazenamento (30, 60, 90 dias) e da atividade de água (0,1, 0,2, 0,3) na umidade do suco de ciriguela atomizado armazenado a 25°C



### 3.1.2 Ácido ascórbico

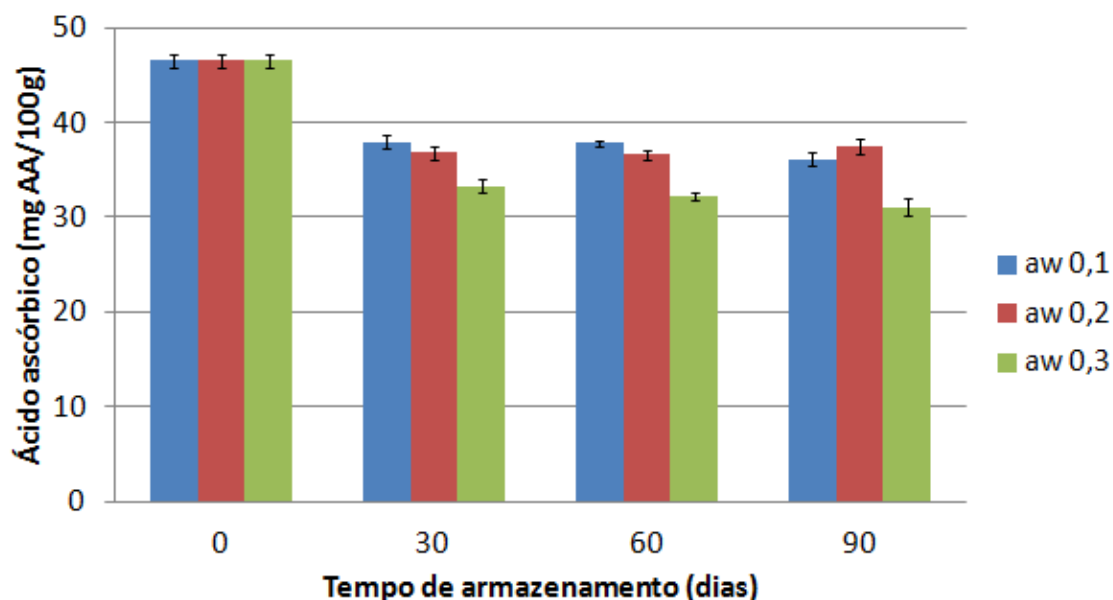
O teor de ácido ascórbico (AA) é bastante quantificado em pesquisas científicas por ser considerado um importante antioxidante natural. O teor de ácido ascórbico na solução de alimentação do atomizador e do suco de ciriguela atomizado no tempo inicial foi de  $58,34 \pm 2,97$  e  $46,56 \pm 0,72$  mg AA/100g massa seca, respectivamente. Apesar de ser considerado um composto altamente sensível ao calor, a técnica de secagem por atomização provocou uma redução leve no teor de ácido ascórbico do suco de ciriguela atomizado no tempo inicial. Este comportamento deve-se ao uso da maltodextrina como eficaz agente carreador no processo de secagem por atomização, e pela inativação de algumas enzimas oxidativas sensíveis ao calor, tais como a ácido ascórbico oxidase (CANO-HIGUITA et al., 2015; WAWIRE et al., 2011).

A estabilidade do ácido ascórbico durante armazenamento do suco de ciriguela atomizado foi avaliada em função do tempo e da aw (Figura 3). O teor de ácido ascórbico do suco de ciriguela atomizado não diferiu significativamente ( $p < 0,05$ ) entre os tempos de 30 e 60 dias para as três condições de aw de armazenamento. Além disso, o teor de ácido ascórbico do suco de ciriguela atomizado armazenado em aw 0,2 não diferiu significativamente ( $p < 0,05$ ) entre os



tempos de 30, 60 e 90 dias, indicando que esta condição de armazenamento proporcionou maior estabilidade a este composto. Em todos os tempos estudados o suco de ciriguela atomizado armazenado em aw 0,3 apresentou os menores teores de ácido ascórbico. Ao final do tempo de armazenamento, os sucos de ciriguela atomizado armazenados em aw 0,1 e 0,2 apresentaram os maiores teores de ácido ascórbico,  $36,14 \pm 0,68$  e  $37,49 \pm 0,83$  mg AA/100g massa seca, respectivamente, não diferindo significativamente entre si ( $p < 0,05$ ). Além disso, ao final do tempo de armazenamento a maior retenção deste composto foi obtida quando o suco de ciriguela atomizado foi armazenado em aw 0,2, chegando até 80%, quando comparado com o teor do ácido ascórbico no tempo inicial.

**Figura 3** – Efeito do tempo de armazenamento (30, 60, 90 dias) e da atividade de água (0,1, 0,2, 0,3) no teor de ácido ascórbico (mg AA/100g massa seca) do suco de ciriguela atomizado armazenado a 25°C



O aumento da umidade, além da presença de oxigênio favorecem a oxidação do ácido ascórbico à ácido dehidroascórbico. Além disso, as reações de degradação do ácido ascórbico são geralmente acompanhadas de mudanças na coloração do alimento, devido à formação de compostos intermediários instáveis (PAVLOVSKA; TANEVSKA, 2013; HIATT; TAYLOR, MAUER, 2010).

A redução no teor de ácido ascórbico em função do aumento do tempo de armazenamento também foi reportada em estudos de estabilidade de suco de maracujá atomizado (COSTA et al., 2013) e tomate atomizado (LIU et al, 2010). No entanto, em estudo realizado por Moraga et al. (2012) com toranja liofilizada, o

teor de ácido ascórbico no terceiro mês de armazenamento não apresentou diferença significativa para as atividades de água 0,1, 0,2 e 0,3. Todisco, Costa e Clemente (2015) observaram um comportamento não linear do teor de ácido ascórbico com suco de ciriguela atomizado armazenado por 120 dias em embalagens plásticas e laminadas.

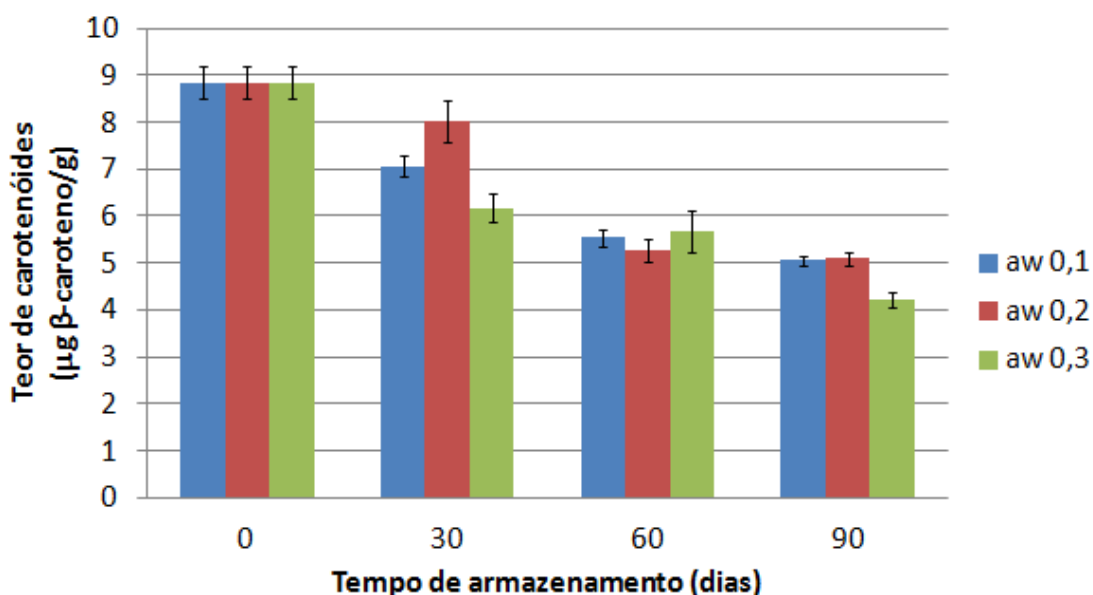
### 3.1.3 Carotenóides totais

Os carotenóides são considerados compostos bioativos de grande importância não apenas por sua capacidade colorante, como por sua atividade antioxidante e funções biológicas (KHA et al., 2015; LIANG et al., 2013; RASCÓN et al., 2011), por isto o teor deste composto foi investigado nesta pesquisa. O teor de carotenóides totais na solução de alimentação do atomizador e do suco de ciriguela atomizado no tempo inicial foi de  $39,42 \pm 1,39$  e  $8,85 \pm 0,33$   $\mu\text{g}$   $\beta$ -caroteno/g massa seca, respectivamente.

Os efeitos do tempo e das condições de armazenamento (aw 0,1, aw 0,2 e aw 0,3) sobre a estabilidade de carotenóides no suco de ciriguela atomizado podem ser observados na Figura 4. Os resultados estatísticos indicam que as condições de armazenamento estudadas afetaram significativamente ( $p < 0,05$ ) o conteúdo de carotenóides totais do suco de ciriguela atomizado. Uma redução significativa ( $p < 0,05$ ) no teor de carotenóides totais no suco de ciriguela atomizado pode ser observada já nos primeiros 30 dias de armazenamento. O teor de carotenóides totais do suco de ciriguela atomizado armazenado em aw 0,1 diferiu significativamente entre os tempos de armazenamento (30, 60 e 90 dias). No tempo de 60 dias de armazenamento o teor de carotenóides totais do suco de ciriguela atomizado armazenados nas três aw (0,1, 0,2 e 0,3) não diferiram significativamente ( $p < 0,05$ ) entre si. Ao final do tempo de armazenamento (90 dias), as amostras armazenadas em aw 0,1 e aw 0,2 apresentaram os maiores teores de carotenóides totais,  $5,06 \pm 0,10$  e  $5,09 \pm 0,11$   $\mu\text{g}$   $\beta$ -caroteno/g, respectivamente, não diferindo significativamente entre si. Este comportamento demonstra que o tempo de armazenamento foi mais efetivo na degradação deste composto do que as condições de aw. Destaca-se que ao final do período de armazenamento a maior retenção deste composto foi obtida quando o suco de ciriguela atomizado foi armazenado em aw 0,2, chegando até 57%, quando comparado com o teor do ácido ascórbico no tempo inicial.

A redução significativa no teor de carotenóides totais ao final do tempo de armazenamento deve-se à sua inerente instabilidade, provocada pelo alto grau de insaturação de suas moléculas, que tornam este fitoquímico susceptível às reações de oxidação e isomerização (KHA et al., 2015; LIANG et al., 2013; RASCÓN et al., 2011). Além disso, segundo Hymavathi e Khader, (2005), produtos secos são considerados mais suscetíveis à degradação dos carotenóides durante o armazenamento devido ao aumento da área de superfície e porosidade. Consequentemente, a degradação dos carotenóides afeta tanto seu valor nutritivo como a cor dos alimentos.

**Figura 4** – Efeito do tempo de armazenamento (30, 60, 90 dias) e da atividade de água (0,1, 0,2, 0,3) no teor de carotenóides ( $\mu\text{g } \beta\text{-caroteno/g}$  massa seca) do suco de ciriguela atomizado armazenado a 25°C



Há um número limitado de estudos sobre a estabilidade de carotenóides em sucos atomizados de frutas obtidos por atomização. Em estudo com nano-emulsões de  $\beta$ -caroteno obtidos por atomização, Liang et al. (2013) também reportam a queda no teor de carotenóides durante o armazenamento. Um comportamento semelhante ao deste estudo foi reportado por Todisco, Costa e Clemente (2015) que observaram um decréscimo no teor de carotenóides ao final do período de armazenamento do suco de ciriguela atomizado a 25°C, armazenado em embalagens plásticas e laminadas.

### 3.1.4 Diferença de cor

A cor dos alimentos é um atributo muito importante que tem impacto relevante na aceitabilidade pelos consumidores (MUZAFFAR; KUMAR, 2016; KHA et al., 2015). A Tabela 3 mostra a variação dos parâmetros de cor, luminosidade ( $L^*$ ), intensidade de vermelho/verde ( $a^*$ ) e intensidade de amarelo/azul ( $b^*$ ), durante o período de armazenamento de 90 dias nas condições de aw 0,1, 0,2 e 0,3 para o suco de ciriguela atomizado. O tempo de armazenamento provocou uma redução significativa ( $p < 0,05$ ) no parâmetro  $L^*$  e  $b^*$  do suco de ciriguela atomizado para todas as condições de armazenamento (aw 0,1, aw 0,2, aw 0,3). No entanto, ao final do tempo de armazenamento (90 dias) o suco de ciriguela atomizado armazenado em aw 0,2 apresentou os valores de  $L^*$  e  $b^*$  mais próximos do tempo inicial. A redução do valor de  $L^*$  reflete um escurecimento da superfície do suco de ciriguela atomizado. Enquanto a redução do parâmetro  $b^*$  indica uma perda da coloração amarela da amostra, que pode ser associada às alterações ocorridas nos pigmentos carotenóides. Para o parâmetro  $a^*$ , a perda da coloração foi observada a partir dos 30 dias de armazenamento em todas as condições de aw armazenadas.

**Tabela 3** – Parâmetros de cor ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) do suco de ciriguela atomizado armazenado por 90 dias a 25°C

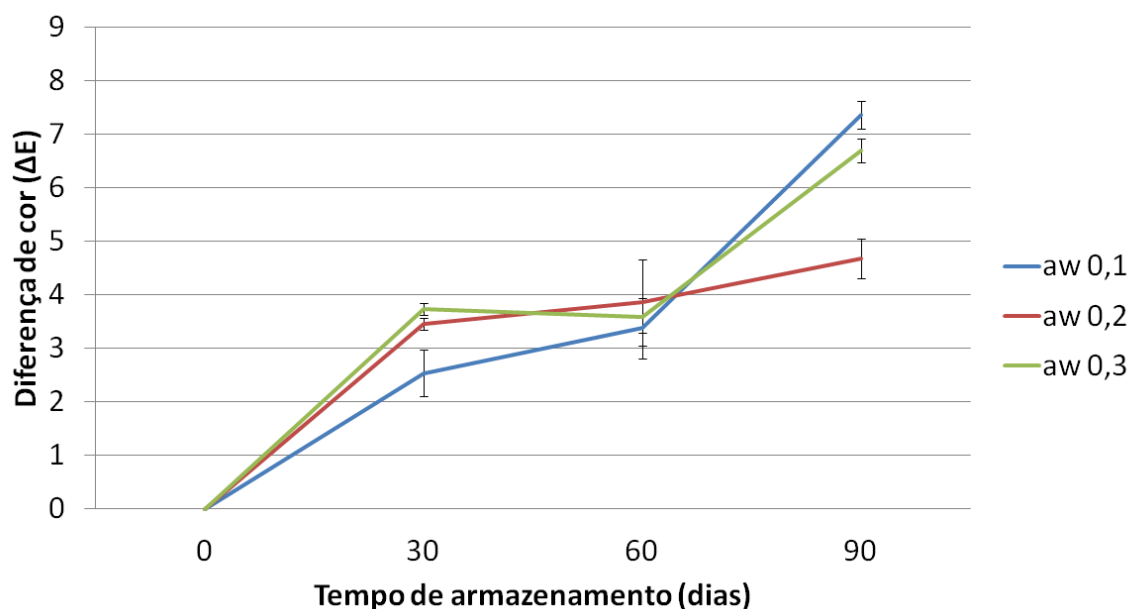
Parâmetros	Tempo de armazenamento			
	0 dias	30 dias	60 dias	90 dias
$L^*$				
aw 0,1	92,61 <sup>aA</sup> ± 0,66	91,80 <sup>bB</sup> ± 0,28	92,05 <sup>abA</sup> ± 0,12	91,02 <sup>cA</sup> ± 0,17
aw 0,2	92,61 <sup>aA</sup> ± 0,66	93,29 <sup>aA</sup> ± 0,25	91,88 <sup>bA</sup> ± 0,58	91,73 <sup>bA</sup> ± 0,62
aw 0,3	92,61 <sup>aA</sup> ± 0,66	91,42 <sup>bB</sup> ± 0,10	91,36 <sup>bA</sup> ± 0,52	89,92 <sup>cB</sup> ± 0,43
$a^*$				
aw 0,1	-2,59 <sup>cA</sup> ± 0,08	-1,29 <sup>bC</sup> ± 0,01	-0,69 <sup>aB</sup> ± 0,04	-0,61 <sup>aC</sup> ± 0,00
aw 0,2	-2,59 <sup>dA</sup> ± 0,08	-0,91 <sup>cB</sup> ± 0,05	-0,32 <sup>bA</sup> ± 0,02	-0,21 <sup>aA</sup> ± 0,01
aw 0,3	-2,59 <sup>cA</sup> ± 0,08	-0,77 <sup>bA</sup> ± 0,08	-0,32 <sup>aA</sup> ± 0,01	-0,28 <sup>aB</sup> ± 0,05
$b^*$				
aw 0,1	24,23 <sup>aA</sup> ± 1,11	22,27 <sup>bA</sup> ± 0,73	21,52 <sup>bA</sup> ± 0,69	17,33 <sup>cC</sup> ± 0,29
aw 0,2	24,23 <sup>aA</sup> ± 1,11	21,30 <sup>bB</sup> ± 0,13	21,25 <sup>bA</sup> ± 0,89	20,35 <sup>bA</sup> ± 0,56
aw 0,3	24,23 <sup>aA</sup> ± 1,11	21,20 <sup>bB</sup> ± 0,15	21,86 <sup>bA</sup> ± 0,73	18,58 <sup>cB</sup> ± 0,43

Média ± desvio padrão. Luminosidade ( $L^*$ ), intensidade de vermelho/verde ( $a^*$ ) e intensidade de amarelo/azul ( $b^*$ ). A estatística foi calculada separadamente para cada parâmetro. Letras minúsculas diferentes nas linhas e as letras maiúsculas diferentes nas colunas diferem estatisticamente pelo teste de Duncan's ( $p < 0,05$ ).

Neste estudo, também foram avaliadas as diferenças de cor ( $\Delta E$ ) do suco de ciriguela atomizado em diferentes condições de umidade e tempo (Figura 5).

Segundo a análise de variância (ANOVA), não houve diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre as três condições de armazenamento ( $a_w$  0,1,  $a_w$  0,2,  $a_w$  0,3) até os 60 dias de armazenamento. Ao final do período de armazenamento (90 dias), o suco de ciriguela atomizado armazenado em  $a_w$  0,2 apresentou menor diferença de cor quando comparada as demais condições. O aumento na diferença de cor em decorrência do tempo pode ser atribuído à reação de Maillard, à absorção de umidade, à degradação do ácido ascórbico e degradação dos carotenóides (MUZAFFAR; KUMAR, 2016; KHA et al., 2015).

**Figura 5** – Efeito do tempo de armazenamento (30, 60, 90 dias) e da atividade de água (0,1, 0,2, 0,3) na diferença de cor ( $\Delta E$ ) do suco de ciriguela atomizado armazenado a 25°C



Um comportamento similar ao encontrado neste estudo, como a redução nos parâmetros  $L^*$  e  $b^*$  e aumento do  $a^*$ , também foi observado por Muzaffar e Kumar (2016) estudando a estabilidade de suco de tamarindo atomizado. A redução nos parâmetros  $L^*$  e  $b^*$ , além de um aumento do  $\Delta E$ , também foram observadas com o aumento no tempo de armazenamento em estudo de estabilidade de tomate atomizado (LIU et al., 2010). Kha et al. (2015) também observaram um aumento do  $\Delta E$  provocado pelo tempo de armazenamento no estudo da estabilidade de óleo de gac encapsulado com goma arábica e proteína do soro do leite por atomizador. Uma redução no parâmetro  $L^*$  no suco de ciriguela atomizado e armazenado por 90 dias em  $a_w$  0,85 foi observado por Todisco, Costa e Clemente (2013).

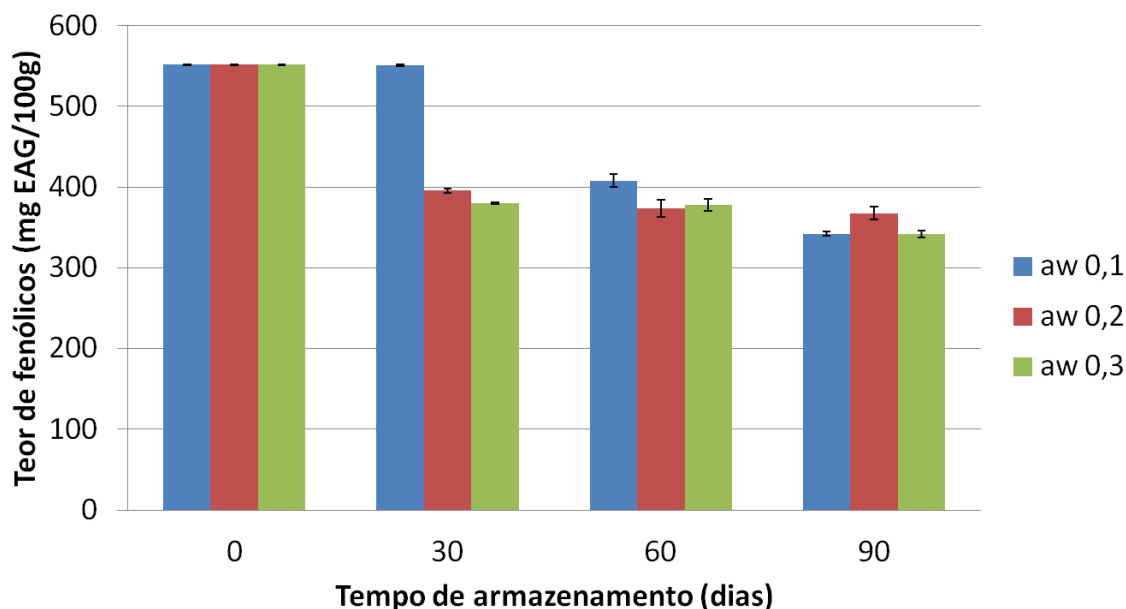
### 3.1.5 Compostos fenólicos

Por pertencerem a uma classe de metabólitos secundários que apresentam um alto poder antioxidante, os compostos fenólicos tem sido foco de muitas pesquisas (DAZA et al., 2016; FANG; BHANDARI, 2011). O teor dos compostos fenólicos na solução de alimentação do atomizador e do suco de ciriguela atomizada foi de  $558,60 \pm 17,5$  e  $551,57 \pm 0,80$  mg EAG/100g massa seca, respectivamente. A secagem por atomização não provocou uma redução significativa ( $p < 0,05$ ) no teor de compostos fenólicos indicando que as condições operacionais e agente carreador escolhidos foram adequados para manutenção destes fitoquímicos.

A estabilidade dos compostos fenólicos no suco de ciriguela atomizado foi avaliada em função do tempo e da aw de armazenamento (Figura 6). Em geral, observa-se uma redução significativa ( $p < 0,05$ ) no teor de compostos fenólicos do suco de ciriguela atomizado com o aumento do tempo de armazenamento; exceto para a aw 0,1 aos 30 dias de armazenamento que não apresentou diferença significativa entre o tempo inicial. Contudo, o teor de compostos fenólicos do suco de ciriguela atomizado armazenado em aw 0,2 não diferiu significativamente ( $p < 0,05$ ) entre os tempos 60 e 90 dias. Ao final do período de armazenamento (90 dias), o teor de compostos fenólicos do suco de ciriguela atomizado armazenado em aw 0,1 e 0,3 não diferiram significativamente ( $p < 0,05$ ) entre si; entretanto, neste mesmo tempo de armazenamento, o suco de ciriguela atomizado armazenado em aw 0,2 apresentou o maior teor de compostos fenólicos,  $367,74 \pm 7,89$  mg EAG/100g massa seca), com retenção de 67% quando comparado ao tempo inicial.

A redução no teor de compostos fenólicos reportada neste estudo deve-se a sua instabilidade e sensibilidade às condições ambientais, tais como temperatura, umidade e oxigênio, durante o processamento e armazenamento. Logo, a redução no teor deste fitoquímico durante o armazenamento pode ser relacionada principalmente às reações de oxidação destes compostos (VOLF et al., 2014; FANG; BHANDARI, 2011).

**Figura 6** – Efeito do tempo de armazenamento (30, 60, 90 dias) e da atividade de água (0,1, 0,2, 0,3) no teor de compostos fenólicos (mg EAG/100g massa seca) do suco de ciriguela atomizado armazenado a 25 °C

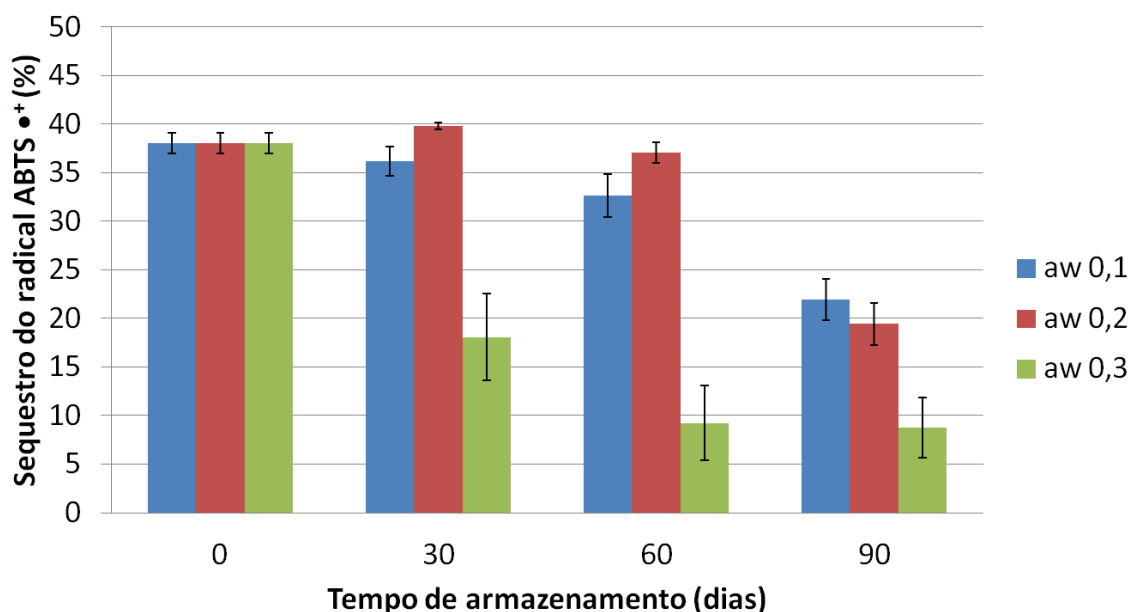


O tempo de armazenamento também provocou uma redução no teor de compostos fenólicos em estudos de estabilidade de produtos obtidos por atomização, tais como extrato de cagaita (DAZA et al., 2016); suco de mirtilo (TURAN et al., 2016); extrato de mirtilo (JIMÉNEZ-AGUILAR et al., 2011) e morango chinês (*bayberry*) (FANG; BHANDARI, 2011). Todisco, Costa e Clemente (2015) relatam um comportamento não linear no teor de compostos fenólicos durante o armazenamento do suco de ciriguela atomizado por 120 dias a 25°C em embalagens plásticas e laminadas.

### 3.1.6 Atividade antioxidante

A atividade antioxidante está relacionada, principalmente, à capacidade de neutralizar radicais livres. Neste estudo, a atividade antioxidante do suco de ciriguela atomizado foi mensurada pela capacidade de sequestro do radical  $ABTS^{\bullet+}$  (%). A capacidade de sequestro do radical  $ABTS^{\bullet+}$  da solução de alimentação do atomizador e do suco de ciriguela atomizado no tempo inicial foi de  $78.45 \pm 1.67\%$  e  $38.04 \pm 1.03\%$ , respectivamente, indicando que mais de 50% da atividade antioxidante foi mantida após a secagem por atomização. A capacidade de sequestro do radical  $ABTS^{\bullet+}$  do suco de ciriguela atomizado foi avaliada em função do tempo e da aw de armazenamento (Figura 7).

**Figura 7** – Efeito do tempo de armazenamento (30, 60, 90 dias) e da atividade de água (0,1, 0,2, 0,3) na capacidade de sequestro do radical ABTS $\bullet^+$  (%) do suco de ciriguela atomizado armazenado a 25 °C



Observa-se uma redução significativa ( $p < 0,05$ ) na capacidade antioxidante do suco de ciriguela atomizado ao final do período de armazenamento. A capacidade de sequestro do radical ABTS $\bullet^+$  do suco de ciriguela atomizado armazenado em aw 0,2 não diferiu significativamente ( $p < 0,05$ ) entre os tempos inicial, 30 e 60 dias. Além disso, a capacidade de sequestro do radical ABTS $\bullet^+$  do suco de ciriguela atomizado armazenado em aw 0,1 e 0,2 não apresentaram diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre si para todos os tempos de armazenamento, indicando que ambas atividades de água contribuem para manutenção da atividade antioxidante da amostra. Ao final do período de armazenamento, a capacidade de sequestro do radical ABTS $\bullet^+$  do suco de ciriguela atomizado armazenado em aw 0,1 e 0,2 foram  $21,94 \pm 2,11$  e  $19,42 \pm 2,19$  %.

Seguindo a mesma tendência do teor dos fitoquímicos bioativos avaliados, a atividade antioxidante demonstrou um decréscimo com o aumento do tempo de armazenamento, confirmando a relação existente entre o teor destes compostos e a atividade antioxidante do suco de ciriguela atomizado. Sabe-se que, o mecanismo de ação do antioxidante frente ao radical ABTS $\bullet^+$  pode ser por transferência de elétron e/ou hidrogênio. O meio, a polaridade, a acidez do grupo hidroxil, a estrutura química e concentração dos compostos fenólicos, além da



concentração de ácido ascórbico e carotenóides na amostra são fatores que influenciam na ação antioxidante (CRAFT et al., 2012).

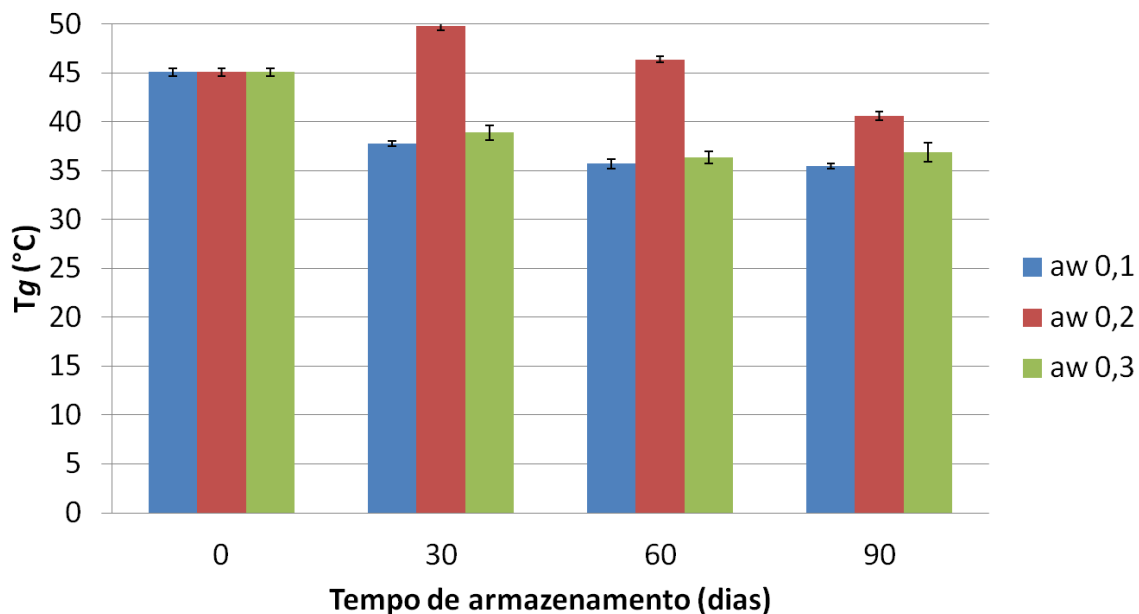
A redução da atividade antioxidante decorrente do aumento da atividade de água e/ou tempo de armazenamento foi observada em estudos com suco de mirtilo atomizado (TURAN et al., 2016), extrato de morango chinês (*bayberry*) (FANG; BHANDARI, 2011) e suco de açaí atomizado (TONON et al., 2010). Entretanto, Lee, Wu e Siow (2013) reportam que a atividade de água não afetou significativamente as propriedades antioxidantes dos sucos de pitáia atomizados, armazenado por 25 dias.

### 3.1.7 Temperatura de transição vítrea

A temperatura de transição vítrea ( $T_g$ ) pode ser usada como indicador para estimar a estabilidade de sucos atomizados durante o armazenamento. Quando a temperatura de armazenamento encontra-se acima da  $T_g$ , os sólidos amorfos, como os sucos atomizados apresentam-se em estado pegajoso, favorecendo a mobilidade molecular e acelerando as reações. Desta forma, os sucos atomizados devem ser armazenados em temperaturas abaixo da temperatura de transição vítrea, a fim de que permaneçam estáveis por longos períodos sem sofrerem alterações físico-químicas, tais como alterações de cor, redução de compostos bioativos e perda de funcionalidade (ISLAM et al., 2016; LEE, WU, SIOW, 2013; FANG, BHANDARI, 2011; BHANDARI, HOWES, 1999).

A temperatura de transição vítrea do suco de ciriguela atomizado foi determinada em todos os tempos de armazenamento (0, 30, 60 e 90 dias) para as três condições de atividade de água estudadas ( $a_w$  0,1, 0,2, 0,3). Os resultados (Figura 8) mostram que na temperatura de armazenamento aplicada neste estudo (25°C) a  $T_g$  variou entre 35,5°C e 49,8°C. A  $T_g$  inicial das amostras foi de 45,1°C  $\pm$  0,4, que seria uma  $T_g$  ideal para manter a estabilidade do suco de ciriguela atomizado armazenado à 25°C. Nas condições de armazenamento em  $a_w$  0,1 e 0,3, para todos os tempos estudados a  $T_g$  foi menor do que a  $T_g$  inicial. No entanto, o suco de ciriguela atomizado armazenado em  $a_w$  0,2 aos 30 e 60 dias de armazenamento apresentou valores de  $T_g$  maiores do que o valores do tempo inicial.

**Figura 8** – Efeito do tempo de armazenamento (30, 60, 90 dias) e da atividade de água (0,1, 0,2, 0,3) na temperatura de transição vítrea ( $^{\circ}\text{C}$ ) do suco de ciriguela atomizado armazenado a  $25^{\circ}\text{C}$



Segundo Fang e Bhandari (2011), quando os sucos atomizados são armazenados em temperatura mais elevada do que a  $T_g$ , as reações físico-químicas ocorrem mais rapidamente do que quando armazenadas em temperatura abaixo da  $T_g$ . Sugere-se que a temperatura de armazenamento de um produto deve ser no mínimo  $20^{\circ}\text{C}$  menor do que a sua  $T_g$ . Para todos os tempos e  $aw$  de armazenamento a  $T_g$  das amostras foi maior do que a temperatura de armazenamento; no entanto, apenas a  $T_g$  do suco de ciriguela atomizado no tempo inicial e armazenado em  $aw\ 0,2$  aos 30 e 60 dias foi  $20^{\circ}\text{C}$  maior que a temperatura de armazenamento, sugerindo que estas condições de armazenamento proporcionam maior estabilidade físico-química ao suco de ciriguela atomizado.

### 3.2 Isotermas de sorção

A determinação das isotermas de sorção de gêneros alimentícios é de grande importância para a ciência e engenharia de alimentos, sendo bastante aplicada em estudos de estabilidade de sucos atomizados (ISLAN et al., 2016; MUZAFFAR; KUMAR, 2016).

Os valores do erro padrão de estimativa de cada modelo, da porcentagem do erro médio absoluto (P) e do  $R^2$  ajustado apresentados na Tabela 4, indicam

que os três modelos matemáticos (GAB, Oswin e Halsey) apresentaram bom ajuste aos dados experimentais. Entretanto, o modelo GAB foi escolhido para descrever o comportamento de adsorção do suco de ciriguela atomizado, por ser bastante aplicado em estudos de estabilidade de várias matrizes alimentícias, por fornecer o teor de umidade da monocamada e por ser aplicado a uma grande faixa de atividade de água (MUZZAFAR; KUMAR, 2016). Esta modelagem também foi eficiente em estudos de estabilidade de suco de açaí atomizado (TONON et al., 2009), suco de tamarindo atomizado (MUZAFFAR; KUMAR, 2016) e suco de laranja atomizado (SORMOLI; LANGRISH, 2015).

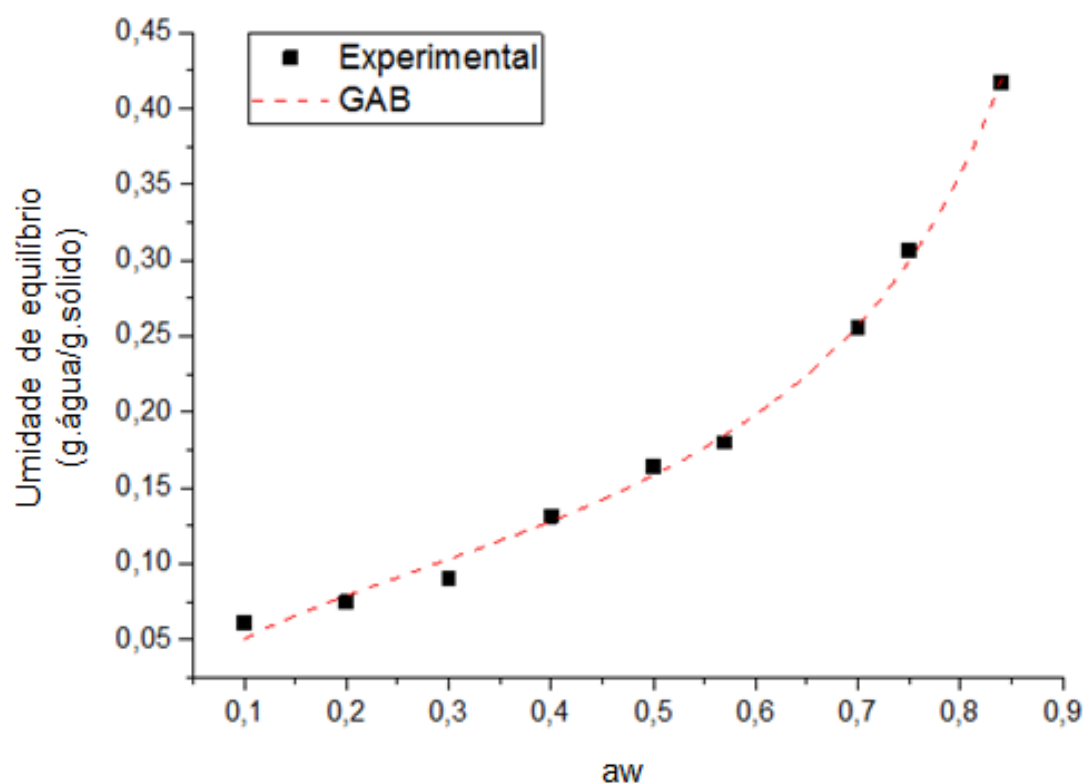
**Tabela 4** – Parâmetros estimados dos modelos GAB, Halsey e Oswin para o suco de ciriguela atomizado

Modelo	Parâmetros do modelo	Valor	Erro padrão de estimativa	P (%)
GAB	$X_m$	0,0959	0,006	5,5636
	$C_{GAB}$	8,92	2,645	
	$K_{GAB}$	0,93	0,016	
	$R_{adj}^2$	0,994	-	
Halsey	A	0,054	0,003	5,6297
	B	1,367	0,043	
	$R_{adj}^2$	0,993	-	
Oswin	A	0,160	0,003	5,7713
	B	0,571	0,017	
	$R_{adj}^2$	0,995	-	

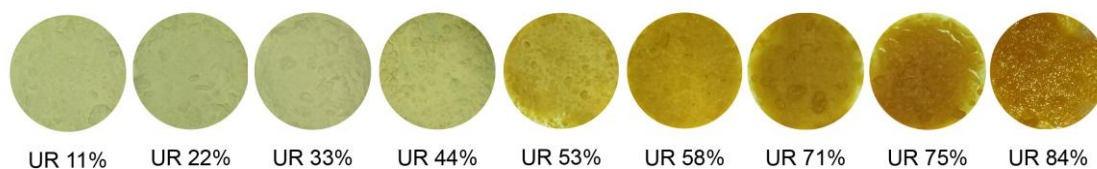
A isoterma de sorção do suco de ciriguela atomizado a 25°C é descrita na Figura 9. Os resultados revelam que a umidade de equilíbrio aumenta com o aumento da atividade de água a uma temperatura constante, uma característica típica de amostras amorfas ricas em componentes hidrofílicos (ISLAM et al., 2016). A aparência física das amostras do suco de ciriguela atomizado submetido a diferentes umidades relativas até o equilíbrio para análise das isotermas de sorção encontra-se na Figura 10. Em baixas atividades de água a umidade de equilíbrio aumenta linearmente, enquanto nas maiores atividades de água observa-se um aumento expressivo na umidade de equilíbrio. Este comportamento é típico de isotermas do tipo III, de acordo com a classificação de Brunauer (BRUNAUER et al., 1938), e pode estar relacionado a natureza

hidrofílica dos açúcares presentes no suco de ciriguela atomizado. Muzaffar e Kumar (2016) e Islam et al. (2016) também reportam um comportamento similar em estudos com suco de tamarindo e laranja atomizados, respectivamente.

**Figura 9** – Isotermas de sorção do suco de ciriguela atomizado a 25°C usando a modelagem GAB



**Figura 10** – Aparência física do suco de ciriguela atomizado submetido a diferentes umidades relativas



#### 4. Conclusão

A estabilidade físico-química do suco de ciriguela atomizado armazenado à 25°C por 90 dias em três condições de atividade de água 0,1, 0,2, 0,3 foi estudada. Ao final do período de armazenamento, o suco de ciriguela atomizado

armazenado em aw 0,2 apresentou as maiores retenções de ácido ascórbico, carotenóides e fenólicos 80%, 57%, 67%, respectivamente, quando comparado com os teores do tempo inicial. Além disso, o menor valor de  $\Delta E$  também observado na condição em aw 0,2 pode estar relacionado à maior retenção destes compostos fitoquímicos. Ao final do período de armazenamento, a atividade antioxidante do suco de ciriguela atomizado em aw 0,1 e 0,2 não diferiu significativamente ( $p < 0,05$ ). A modelagem GAB apresentou melhor ajuste aos dados da isoterma de sorção do suco de ciriguela atomizado, revelando uma curva do tipo III, típica de uma amostra amorfa rica em compostos hidrofílicos. Para assegurar a preservação das propriedades físico-químicas do suco de ciriguela atomizado durante o armazenamento, o estado vítreo da matriz amorfa deve ser garantido, portanto, este estudo sugere que o suco de ciriguela atomizado, quando em temperatura ambiente ( $25^{\circ}\text{C} \pm 1$ ), seja armazenado por até 90 dias em aw 0,2, para que as alterações físico-químicas sejam minimizadas. O presente estudo fornece informações importantes que podem ser utilizadas no desenvolvimento e seleção de embalagens e na determinação da vida de prateleira do suco de ciriguela atomizado.

## 5. Referências bibliográficas

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY - AOAC. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemistry**. 18th ed. Washington, p.1115, 2006.

BHANDARI, B. R.; HOWES, T. Implication of glass transition for the drying and stability of dried foods. **Journal of Food Engineering**, v. 40, p. 71-79, 1999.

BRUNAUER, S; EMMETT, P. H.;TELLER, E. Adsorption of gases in multimolecular layers. **Journal of American Chemistry Society**, v. 60, p. 309–320, 1938.

CANO-HIGUITA, D. M.; VILLA-VÉLEZ, H. A.; TELIS-ROMERO, J.; VÁQUIRO, H. A.; TELIS, V R.N. Influence of alternative drying aids on water sorption of spray dried mango mix powders: A thermodynamic approach. **Food and Bioproducts Processing**, v. 93, p.19–28, 2015.

CRAFT, B.D; KERRIHAD, A.L.; AMAROWIEZ, R.; PEGG, R.B.; Phenol-basead antioxidants and the in vitro methods used for their assessment. **Food Science**, v. 11, p. 148-173, 2012.

COSTA, J.N.; FIGUEIREDO, R. W. de; SOUSA, P. H. M. de; GONZAGA, M. L. C.; CONSTANT, P. B. L.; SOARES, D. J. Study of the stability of passion fruit (*Passiflora edullis* f. *flavicarpa*) powder from organic farming. **Ciências agrárias**, v. 34, p. 705-716, 2013.

DAZA, L. D.; FUJITA, A.; FÁVARO-TRINDADE, C.S.; RODRIGUES-RACT, J. N.; GRANATO, D.; GENOVESE, M. I. Effect of spray drying conditions on the physical properties of Cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.) fruit extracts. **Food and Bioproducts Processing**, v. 97, p. 20-29, 2016.

FANG, Z.; BHANDARI, B.; Effect of spray drying and storage on the stability of bayberry polyphenols. **Food Chemistry**, v. 129, p. 1139–1147, 2011.

GREENSPAN, L. Humidity fixed points of binary saturated aqueous solutions, **Journal of Research of the National Bureau of Standards, Section A: Physics and Chemistry**, v.81, p. 89–96, 1977.

HIATT, A. N.; TAYLOR, L. S.; MAUER, L. J. Influence of simultaneous variations in temperature and relative humidity on chemical stability of two vitamin c forms and implications for shelf life models. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 58, p.3532-3540, 2010.

HYMAVATHI, T. V.; KHADER, V. Carotene, ascorbic acid and sugar content of vacuum dehydrated ripe mango powders stored in flexible packaging material. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 18, p.181-192, 2005.

ISLAM, M. Z.; KITAMURA, Y.; YAMANO, Y.; KITAMURA, M. Effect of vacuum spray drying on the physicochemical properties water sorption and glass transition phenomenon of orange juice powder. **Journal of Food Engineering**, v. 169, p. 131-140, 2016.

JIMÉNEZ-AGUILAR, D.M.; ORTEGA-REGULES, A. E.; LOZADA-RAMÍREZ, J. D.; PÉREZ-PÉREZ, M. C. I.; VERNON-CARTER, E. J.; WELTI\_CHANES, J. Color and chemical stability of spray-dried blueberry extract using mesquite gum as wall material. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 24, p. 889-894, 2011.

KHA, T. C.; NGUYEN, M. H.; ROACH, P. D.; STATHOPOULOS, C. E. A storage study of encapsulated gac (*Momordica cochinchinensis*) oil powder and its fortification into foods. **Food and Bioproducts Processing**, v. 96, p.113-125, 2015.

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

LIANG, R.; HUANG, Q.; MA, J.; SHOEMAKER, C. F.; ZHONG, F. Effect of relative humidity on the store stability of spray-dried beta-carotene nanoemulsions. **Food Hydrocolloids**, v. 33, p.225-233, 2013.

LIU, F; CAO, X.; WANG, H.; LIAO, X. Changes of tomato powder qualities during storage. **Powder Technology**, v. 204, p.159-166, 2010.

MORAGA G. A.; IGUAL, M. A.; GARCÍA-MARTÍNEZ, E.; MOSQUERA, L. H.; MARTÍNEZ-NAVARRETE, N. Effect of relative humidity and storage time on the bioactive compounds and functional properties of grapefruit powder. **Journal of Food Engineering**, v. 112, p. 191–199, 2012.

MUZAFFAR, K.; KUMAR, P. Moisture sorption isotherms and storage study of spray dried tamarind pulp powder. **Powder Technology**, v. 291, p.322-327, 2016.

PAVLOVSKA, G. TANEVSKA, S. Influence of temperature and humidity on the degradation process of ascorbic acid in vitamin C chewable tables. **Journal Thermal Analytical Calorimetry**, v. 111, p. 2971-1977, 2013.

RASCÓN, M. P.; BERISTAIN, C. I.; GARCÍA, H. S.; SALGADO, M. A. Carotenoid retention and storage stability of spray-dried encapsulated paprika oleoresin using gum Arabic and Soy protein isolated as wall materials. **LWT-Food Science and Technology**, v. 44, p.549-557, 2011.

RÉ, R.; PELLEGRINI, N.; PROTEGGENTE, A.; PANNALA, A.; YANG, M.; RICEEVANS, C. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. **Free Radical Biology and Medicine**. Vol. 26, p. 1231–1237, 1999.

RODRIGUEZ-AMAYA, D.B. **A guide to carotenoid analysis in foods**. ILSI Press: Washington, p. 64, 2001.

SANT'ANNA, V.; ENGLERT, A. H.; CORRÊA, A. P. F.; BRANDELLI, A.; MARCZAK, L. D. F.; TESSARO, I. C. Grape Marc Powder: Physicochemical and Microbiological Stability during storage and moisture sorption isotherm. **Food Bioprocess Technology**, v. 7, p. 2500-2506, 2014.

SORMOLI, M. E.; LANGRISH, T. Moisture sorption isotherms and net isosteric heat of sorption for spray-dried pure orange juice powder. **Food Science and Technology**, v. 62, p. 875–882, 2015.

TODISCO, M. K.; COSTA, J. M. C.; CLEMENTE, E. Alterations in carotenoids, phenolic compounds, flavonoids and ascorbic acid contents in red mombim (*Spondias purpurea* L.) microencapsulated pulp. **Journal of Food, Agriculture & Environment**, v.13, p. 24-28, 2015.

TODISCO, M. K.; COSTA, J. M. C.; RODRIGUES, S.; CLEMENTE, E. Microencapsulation of Red Mombin (*Spondias Purpurea* L.) pulp using spray-drying. **International Journal of Sciences**, v. 2, p. 6-11, 2013.

TONON, R. V.; BARONI, A. F.; BRABET, C.; GIBERT, O.; PALLET, D.; HUBINGER, M. D. Water sorption and glass transition temperature of spray dried açai (*Euterpe oleracea* Mart.) juice. **Journal of Food Engineering**, v. 94, p. 215–221, 2009.

TONON, R.V., BRABET, C., RUBINGER, M.D., Anthocyanin stability and antioxidant activity of spray-dried açai (*Euterpe oleracea* Mart.) juice produced with different carrier agents. **Food Research International**, v. 43, p. 907–914, 2010.

TURAN, F. T.; CENGİZ, A.; SANDIKÇI, D.; DERVISOĞLU, M.; KAHYAĞLU, T. Influence os ultrasonic nozzle in spray-drying and storage on the properties of blueberry powder and microcapsule. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 96, p. 1-15, 2016.

VOLF, I.; IGNAT, I.; NEAMTU, M.; POPA, V. I. Thermal stability, antioxidant activity, and photo-oxidation of natural polyphenols. **Chemical Papers**, v. 68, p.121-129, 2014.

WANG, W.; ZHOU, W. Water adsorption and glass transition of spray-dried soy sauce powders using maltodextrins as carrier. **Food Bioprocess Technology**, v. 6, p. 2791-2799, 2013.

WAWIRE, M.; OEY, I.; MATHOOKO, F.; NJOROGI, C.; SHITANDA, D.; HENDRICKX, M. Thermal stability of ascorbic acid and ascorbic acid oxidase in African cowpea leaves (*Vigna unguiculata*) of different maturities. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, v. 59, p. 1774–1783, 2011.

WETTASINGHE, M.; SHAHIDI, F. Evening primrose meal: a source of natural antioxidants and scavenger of hydrogen peroxide and oxygen-derived free radicals. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.47, p. 1801-1812, 1999.



## APÊNDICE

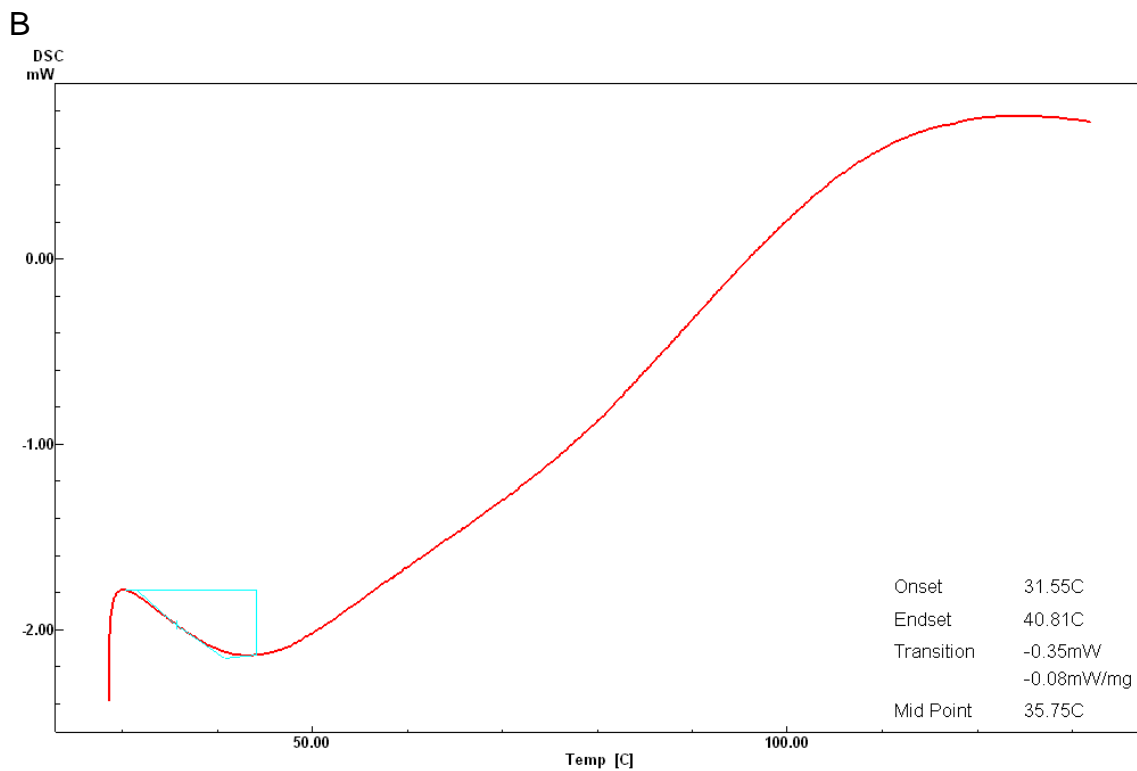
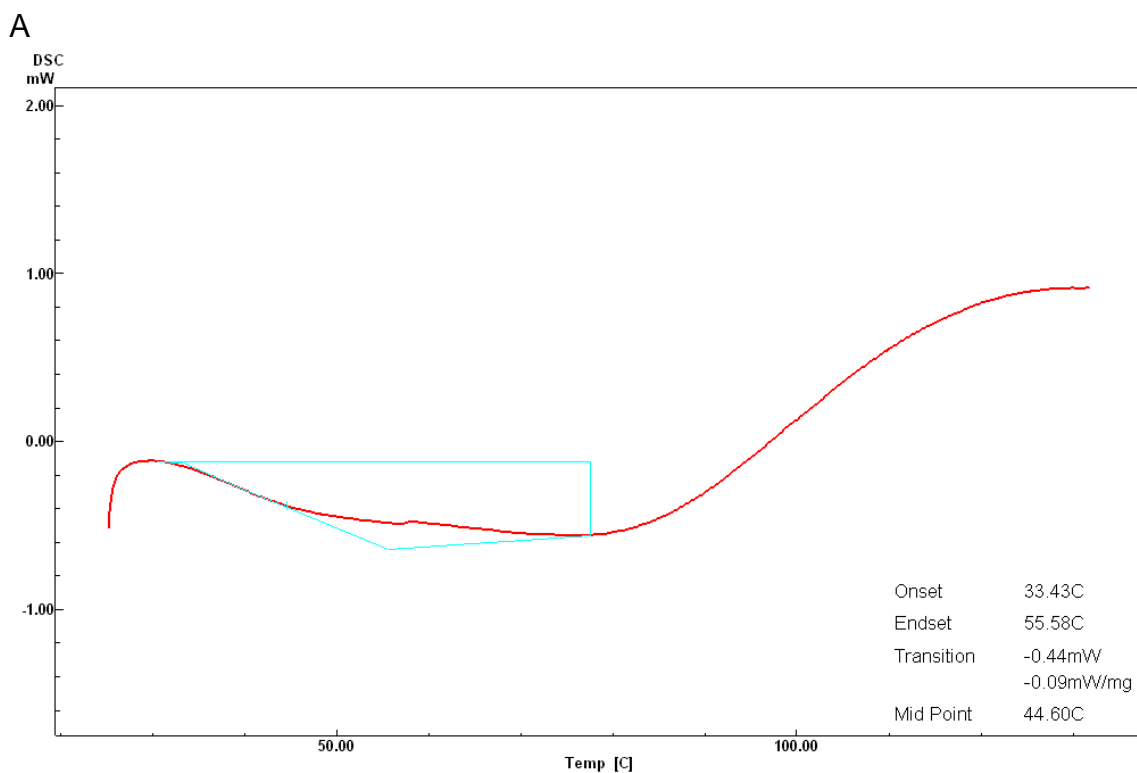
**Tabela 5** – Respostas da caracterização físico-química e atividade antioxidante do suco de ciriguela atomizado armazenado por 90 dias em três aw (0,1, 0,2 e 0,3) à 25°C

Parâmetros			
aw			
Tempo (dias)	aw 0,1	aw 0,2	aw 0,3
0	0,18 <sup>a</sup> A ± 0,01	0,18 <sup>a</sup> A ± 0,01	0,18 <sup>a</sup> A ± 0,01
30	0,22 <sup>b</sup> A ± 0,00	0,30 <sup>b</sup> B ± 0,01	0,37 <sup>b</sup> C ± 0,00
60	0,22 <sup>b</sup> cA ± 0,00	0,34 <sup>c</sup> B ± 0,00	0,36 <sup>b</sup> C ± 0,00
90	0,25 <sup>c</sup> A ± 0,06	0,31 <sup>b</sup> cB ± 0,00	0,37 <sup>b</sup> C ± 0,00
Umidade (%)			
Tempo (dias)	aw 0,1	aw 0,2	aw 0,3
0	3,23 <sup>a</sup> A ± 0,15	3,23 <sup>a</sup> A ± 0,15	3,23 <sup>a</sup> A ± 0,15
30	2,66 <sup>b</sup> A ± 0,28	4,32 <sup>b</sup> B ± 0,36	5,44 <sup>b</sup> C ± 0,33
60	2,54 <sup>b</sup> A ± 0,28	3,90 <sup>b</sup> B ± 0,32	5,43 <sup>b</sup> C ± 0,24
90	3,21 <sup>a</sup> A ± 0,14	5,05 <sup>c</sup> B ± 0,19	5,92 <sup>b</sup> C ± 0,40
ΔE			
Tempo (dias)	aw 0,1	aw 0,2	aw 0,3
0	0	0	0
30	2,54 <sup>a</sup> B ± 0,43	3,45 <sup>a</sup> A ± 0,11	3,73 <sup>a</sup> A ± 0,11
60	3,38 <sup>a</sup> A ± 0,56	3,86 <sup>ab</sup> A ± 0,80	3,58 <sup>a</sup> A ± 0,28
90	7,36 <sup>b</sup> A ± 0,26	4,68 <sup>b</sup> C ± 0,37	6,69 <sup>b</sup> B ± 0,22
Ácido ascórbico (mg AA/100g massa seca)			
Tempo (dias)	aw 0,1	aw 0,2	aw 0,3
0	46,56 <sup>a</sup> A ± 0,72	46,56 <sup>a</sup> A ± 0,72	46,56 <sup>a</sup> A ± 0,72
30	37,94 <sup>b</sup> A ± 0,70	36,78 <sup>b</sup> A ± 0,64	33,29 <sup>b</sup> B ± 0,73
60	37,79 <sup>b</sup> A ± 0,34	36,61 <sup>b</sup> B ± 0,56	32,20 <sup>b</sup> cC ± 0,44
90	36,14 <sup>c</sup> A ± 0,68	37,49 <sup>b</sup> A ± 0,83	31,05 <sup>c</sup> B ± 0,93
Carotenóides (µg β-caroteno/g massa seca)			
Tempo (dias)	aw 0,1	aw 0,2	aw 0,3
0	8,85 <sup>a</sup> A ± 0,33	8,85 <sup>a</sup> A ± 0,33	8,85 <sup>a</sup> A ± 0,33
30	7,06 <sup>b</sup> A ± 0,23	8,01 <sup>b</sup> B ± 0,45	6,17 <sup>b</sup> C ± 0,31
60	5,54 <sup>c</sup> A ± 0,19	5,27 <sup>c</sup> A ± 0,23	5,67 <sup>b</sup> A ± 0,44
90	5,06 <sup>d</sup> A ± 0,10	5,09 <sup>c</sup> A ± 0,11	4,22 <sup>c</sup> B ± 0,18
Fenólicos (mg EAG/100g massa seca)			
Tempo (dias)	aw 0,1	aw 0,2	aw 0,3
0	551,57 <sup>a</sup> A ± 0,80	551,57 <sup>a</sup> A ± 0,80	551,57 <sup>a</sup> A ± 0,80
30	550,80 <sup>a</sup> A ± 0,96	395,69 <sup>b</sup> B ± 2,80	380,46 <sup>b</sup> C ± 1,09
60	408,15 <sup>b</sup> A ± 8,17	373,74 <sup>c</sup> B ± 10,17	377,91 <sup>b</sup> B ± 7,28
90	342,30 <sup>c</sup> B ± 3,09	367,74 <sup>c</sup> A ± 7,89	341,71 <sup>c</sup> B ± 4,04
Capacidade de sequestro do radical ABTS <sup>•+</sup> (%)			
Tempo (dias)	aw 0,1	aw 0,2	aw 0,3
0	38,04 <sup>a</sup> A ± 1,03	38,04 <sup>a</sup> A ± 1,03	38,04 <sup>a</sup> A ± 1,03
30	36,21 <sup>a</sup> A ± 1,49	39,81 <sup>a</sup> A ± 0,39	18,08 <sup>b</sup> A ± 4,47
60	32,64 <sup>b</sup> A ± 2,20	37,05 <sup>a</sup> A ± 1,05	9,21 <sup>c</sup> B ± 3,85
90	21,94 <sup>c</sup> A ± 2,11	19,42 <sup>b</sup> A ± 2,19	8,77 <sup>c</sup> B ± 3,09

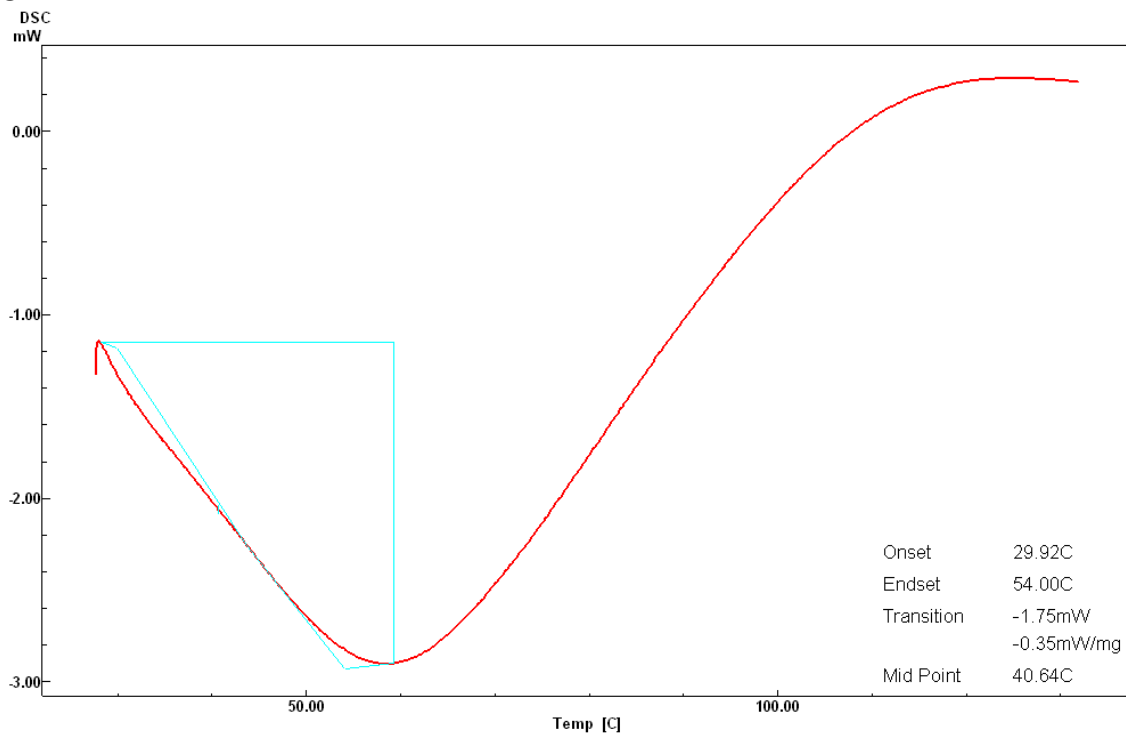
Média ± desvio padrão. Diferença de cor (ΔE), Ácido ascórbico (AA), Equivalente em ácido gálico (EAG).

A estatística foi calculada separadamente para cada parâmetro. Letras minúsculas diferentes nas colunas e letras maiúsculas diferentes nas linhas diferem estatisticamente pelo teste de Duncan's (p<0,05).

Figura 11 - Termogramas do suco de ciriguela atomizado produzido com maltodextrina 10DE no tempo inicial (A) e armazenados por 90 dias em aw 0,1 (B), 0,2 (C) e 0,3 (D)



C



D

