

UFRRJ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA
E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

DISSERTAÇÃO

**Avaliação física e química de polpa de morango atomizada
utilizando diferentes agentes carreadores.**

Maria Isabel Souza Oliveira

2013



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA
E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS**

**AVALIAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA DE POLPA
DE MORANGO ATOMIZADA UTILIZANDO
DIFERENTES AGENTES CARREADORES**

MARIA ISABEL SOUZA DE OLIVEIRA

Sob a Orientação da Pesquisadora
Lourdes Maria Corrêa Cabral

e Co-orientação da Pesquisadora
Renata Valeriano Tonon

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos**, no Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Área de Concentração em Tecnologia de Alimentos.

Seropédica, RJ
Junho de 2013

664.80475

O48a

T

Oliveira, Maria Isabel Souza de, 1986-
Avaliação física e química de polpa de morango atomizada utilizando diferentes agentes carreadores/ Maria Isabel Souza de Oliveira. - 2013.
66 f.: il.

Orientador: Lourdes Maria Corrêa Cabral.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Curso de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Bibliografia: f. 45-55.

1. Morango - Processamento - Teses. 2. Morango - Indústria - Teses. 3. Polpa de frutas - Análise - Teses. 4. Antocianinas - Teses. 5. Tecnologia de alimentos - Teses. I. Cabral, Lourdes Maria Corrêa, 1957- II. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Curso de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos. III. Título.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
ALIMENTOS**

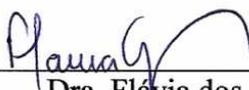
MARIA ISABEL SOUZA OLIVEIRA

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, área de Concentração em Tecnologia de Alimentos.

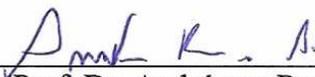
DISSERTAÇÃO APROVADA EM 26/06/2013



Dra. Lourdes Maria Corrêa Cabral
Embrapa Agroindústria de Alimentos
(Orientador)



Dra. Flávia dos Santos Gomes
Embrapa Agroindústria de Alimentos



Prof. Dr. André von Randow de Assis
Departamento de Tecnologia de Alimentos – UFRRJ

DEDICATÓRIA

À Deus, que me deu saúde, perseverança e pessoas para me ajudar nesta caminhada.
Aos meus pais, Dinalia e Ataydio, que são a minha fortaleza. Meus maiores amores.
A todos que torceram e acompanharam de perto esta minha jornada em busca de mais conhecimento.

AGRADECIMENTO

À Deus pela benção da mamãe ter voltado a andar e eu ter conseguido finalizar o mestrado. Pelos amigos que fiz nessa caminhada. E pela oportunidade de continuar progredindo intelectualmente.

Um obrigada mais que especial aos meus pais, que me incentivaram desde menina a chegar onde eles não puderam. À mamãe que acordou de madrugada várias vezes pra fazer minha "marmita" pra eu levar para a Embrapa. Ao papai que todo dia perguntava se já estava perto o dia da defesa, devido aos seus 84 anos, acho que ele tinha pressa, risos. Amo vocês para sempre!!! S2

À Embrapa Agroindústria de Alimentos pelo auxílio na conclusão deste trabalho.

À Fundação de Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

Aos meus amigos que sempre estiveram me apoiando: Marleni Duarte, Paulo Machado, Daniele Moraes, Alcilúcia de Oliveira, Marcelly Santos, Marco Antônio Pinto, Gustavo Passos, Graça Passos, Josane Saggin, Letícia Grégio, Cátia Grégio, Daniela de Oliveira, Eliane Padilha, Zezé Guimarães, Patrícia da Silva, Letícia Schettini, Jobson Ventura e as minhas afilhadas amadas: Loma, Marcella, Margot, Victoria e Priscila. Muitíssimo obrigada por tudo. Vocês são muito especiais pra mim.

À minha orientadora Lourdes Cabral, que sempre me entendeu e acreditou em mim, mais do que eu mesma. Que passou a ser minha segunda mãe, mesmo eu não sendo uma excelente filha. Obrigada pelas inúmeras vezes que brigou comigo, nesses momentos progredi mais. Te Amo!

À minha co-orientadora Renata Tonon que tirava todas as minhas dúvidas sobre atomização, com muita paciência. Obrigada por ter me ajudado tanto.

Aos meus brilhantes professores que considero como amigos: Rosa Luchese, Armando Sabaa, Sin Huei Wang e Cris Hess.

À espetacular Alci, por sempre me mostrar o lado positivo e ter me ajudado inúmeras vezes.

Aos estagiários Milene Gomes e Felipe Almeida por terem me ajudado com a boa vontade deles, na época de treinamento. E a Nati e a Ana por terem compartilhado o conhecimento delas comigo, quando precisei aprender a fazer as análises.

Ao amigo Diego Carneiro pela ajuda com as linearizações das equações dos modelos matemáticos de isotermas.

Ao pesquisador Humberto Bizzo que me auxiliou muito na parte de cromatografia gasosa.

À pesquisadora Regina Nogueira pela liberação da utilização do *spray dryer*.

À pesquisadora Flávia Gomes por gentilmente ter respondido algumas dúvidas.

Aos funcionários Marco Antônio, Chorão, William, Andressa, Érika, especialmente ao Filé e a Marcelly, pela enorme ajuda na parte experimental do trabalho.

Aos meus amigos que fiz durante estes anos na Embrapa: Nati Eitel, Bianca, Mari, Monica Pagani, Marlon, Rafhaela, Ana Paula, Rosiane Bonfim, Renata Cabral, André Souza, Diego, Michele, Felipe, Milene, Rodrigo, Thainá, Paola, Alex, Ducal, Marco, Davizinho, Dione, Merlim, Silvia, Caetano, Zé Carlos, Alexandra, Crislen, Luiza, Rozana, Cinthia de Carvalho, Lú Martinez, Larissa, Cássia, Jú Vilar, Flávia (Pingo), Perê, Isabelle. Obrigada pela amizade. Levarei vocês sempre em meu coração.

A secretária da pós-graduação de alimentos, Lucimar Storck e aos meus amigos do DTA: Nadia Souza, Edlene Ribeiro, Daniel Cordeiro, José Martins, Cristiane Tavares, Julio, Dina, que sempre me incentivaram e me ajudaram.

Aos amigos Davi, Jobson, Pedro, Marreta, Ivan e Zazá, pelas caronas. Especialmente ao Roberto, que praticamente me levou todos os dias!

Aos Marcos Moulin e André Gomes pela ajuda com os pôsteres dos congressos.

A todos que direta ou indiretamente participaram na conclusão deste trabalho.

RESUMO

OLIVEIRA, Maria Isabel Souza. **AValiação Física e Química de Polpa de Morango Atomizada Utilizando Diferentes Agentes Carreadores**. 2013. 66p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Instituto de Tecnologia, Departamento de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2013.

Este trabalho teve por objetivo avaliar o efeito de diferentes agentes carreadores (Maltodextrina 5DE, Maltodextrina 10DE, Goma arábica e o amido modificado Capsul[®]) nas características físicas (umidade, densidade, solubilidade) e químicas (teor de antocianinas, fenólicos totais e atividade antioxidante) e na retenção de voláteis da polpa de morango desidratada por atomização. A estabilidade física dos pós quando expostos a diferentes umidades relativas também foi avaliada através da construção de isotermas de sorção. O rendimento do processo variou entre 39 e 50% sendo que o amido modificado Capsul[®] resultou no maior valor. A utilização dos diferentes agentes carreadores resultou em pós com valores de densidade aparente entre 0,40 e 0,52 g/cm³ e umidade menor que 2,5%. Todas as amostras apresentaram solubilidade elevada, mas os pós obtidos com a Maltodextrina 5DE e com a Goma arábica apresentaram menor higroscopicidade. As curvas obtidas pelas isotermas de sorção apresentaram bom ajuste aos modelos experimentais testados e foram descritas pelo formato tipo III. Não foram observadas diferenças na estrutura morfológica das partículas obtidas. A amostra produzida com goma arábica apresentou a maior concentração de compostos fenólicos e de antocianinas e, conseqüentemente, maior valor de atividade antioxidante, tanto imediatamente após a secagem, como ao longo de 90 dias de armazenamento. Esta amostra também apresentou maior número de compostos característicos do morango semi-quantificados e identificados. Conclui-se a partir dos resultados obtidos que a goma arábica foi o agente carreador mais adequado para a produção de polpa de morango em pó. No entanto, estudos adicionais devem ser realizados para avaliar a viabilidade econômica do uso deste material.

Palavra-chave: Isotermas de sorção, atividade antioxidante, antocianinas.

ABSTRACT

OLIVEIRA, Maria Isabel Souza. **PHYSICO AND CHEMICAL EVALUATION OF SPRAY-DRYED STRAWBERRY PULP PRODUCED WITH DIFFERENT CARRIER AGENTS**. 2013. 66p. Dissertation (Master's degree in Food Science and Technology). Instituto de Tecnologia, Departamento de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2013.

This study aimed to evaluate the effect of different carrier agents (Maltodextrin 5DE, Maltodextrin 10DE, gum Arabic and the modified starch Capsul[®]) on the physical (moisture, density, solubility) and chemical (total anthocyanins and antioxidant activity) characteristics and on the volatiles retention of strawberry pulp processed by spray drying. The physical stability of powders when exposed to different relative humidities was also evaluated through the construction of sorption isotherms. The process yield ranged from 39 to 50% and the modified starch Capsul[®] resulted in highest value. The use of different carrier agents resulted in powders with bulk density ranging from 0.40 to 0.52 g/cm³ and moisture content lower than 2.5%. All samples showed high solubility, but the powder obtained with 5DE Maltodextrin and with the gum Arabic showed lower hygroscopicity. The curves obtained by the sorption isotherms showed good fit to the experimental models tested and were described by the type III format. There was no difference in the morphological structure of the obtained particles. The powder produced with gum Arabic had the highest phenolic and anthocyanin contents and consequently the greatest antioxidant activity value, either immediately after the drying process or during the storage period. This sample also had the highest number of semi-quantified and identified characteristic strawberry-compounds. Results showed that gum Arabic was the most suitable carrier agent for the production of strawberry pulp powder. However, additional studies should be conducted to assess the economic viability of using this material.

Key words: Sorption isotherms, antioxidant activity, anthocyanin.

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1	Dados de atividade de água (a_w) das soluções salinas saturadas a 25°C.....	15
Tabela 3.2	Modelos matemáticos utilizados para o ajuste de isotermas de sorção do pó.....	15
Tabela 4.1	Composição físico-química da polpa de morango.....	21
Tabela 4.2	Rendimento das amostras produzidas com diferentes agentes carreadores.....	22
Tabela 4.3	Solubilidade das partículas produzidas com diferentes agentes carreadores.....	23
Tabela 4.4	Valores experimentais da umidade de equilíbrio (X_e) nas diferentes atividades de água (a_w) para as amostras produzidas com diferentes tipos de agentes carreadores.....	24
Tabela 4.5	Parâmetros de ajuste das isotermas de sorção de polpa de morango em pó produzido com diferentes agentes carreadores.....	25
Tabela 4.6	Umidade das partículas produzidas com diferentes agentes carreadores.....	28
Tabela 4.7	Análises químicas dos pós produzidos com diferentes agentes carreadores no 1º dia.....	28
Tabela 4.8	Compostos aromáticos identificadas por CG-MS na polpa de morango <i>in natura</i>	34
Tabela 4.9	Compostos aromáticos identificadas por CG-MS na polpa de morango atomizada, no 1º e no 90º dias.....	37

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Isoterma de sorção de água de alimento com baixa quantidade de água.....	6
Figura 2.2	Histerese das isotermas de sorção de água.....	7
Figura 2.3	Tipos de isotermas de sorção.....	7
Figura 2.4	Estrutura básica dos flavonóides.....	8
Figura 2.5	Estrutura química dos principais tipos de flavonóides.....	9
Figura 3.1	Mini <i>spray dryer</i>	14
Figura 4.1	Isotermas de sorção da polpa de morango em pó produzida com diferentes agentes carreadores, ajustadas pelo modelo de GAB	26
Figura 4.2	Evolução do teor de antocianinas totais para amostras de morango em pó com os diferentes agentes carreadores ao longo do armazenamento a 25°C.....	29
Figura 4.3	Evolução do teor de fenólicos totais para amostras de morango em pó com os diferentes agentes carreadores ao longo do armazenamento a 25°C.....	30
Figura 4.4	Evolução do teor de atividade antioxidante (TEAC) para amostras de morango em pó com os diferentes agentes carreadores ao longo do armazenamento a 25°C.....	31
Figura 4.5	Micrografias da polpa de morango atomizada com o agente carreador: maltodextrina de 5DE, obtida por microscopia eletrônica de varredura, aumento de 4000x.....	32
Figura 4.6	Micrografias da polpa de morango atomizada com o agente carreador: maltodextrina de 10DE, obtida por microscopia eletrônica de varredura, aumento de 4000x.....	32
Figura 4.7	Micrografias da polpa de morango atomizada com o agente carreador: goma arábica, obtida por microscopia eletrônica de varredura, aumento de 4000x.....	33
Figura 4.8	Micrografias da polpa de morango atomizada com o agente carreador: Capsul [®] , obtida por microscopia eletrônica de varredura, aumento de 4000x.....	33
Figura 4.9	Comparação dos cromatogramas de polpa <i>in natura</i> com os atomizados, no início do armazenamento.....	40
Figura 4.10	Comparação dos cromatogramas de polpa <i>in natura</i> com os atomizados, após 90 dias de armazenamento.....	41
Figura 4.11	Comparação dos cromatogramas de polpa atomizada com o agente carreador: goma arábica no 1º dia e no 90º dia de armazenamento.....	42

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	Objetivo.....	2
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1	Morango.....	3
2.2	Secagem.....	4
2.2.1	Isoterma de sorção.....	5
2.3	Compostos Fenólicos.....	8
2.4	Antocianinas Totais.....	9
2.5	Atividade Antioxidante.....	10
2.6	Compostos Voláteis.....	11
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	13
3.1	Material.....	13
3.1.1	Matéria-prima.....	13
3.1.2	Agentes carreadores.....	13
3.2	Métodos.....	13
3.2.1	Caracterização da matéria-prima.....	13
3.2.2	Secagem por atomização.....	13
3.2.2.1	Rendimento.....	14
3.2.3	Caracterização da polpa de morango em pó.....	14
3.2.3.1	Densidade aparente.....	14
3.2.3.2	Solubilidade.....	14
3.2.3.3	Isotermas de sorção.....	15
3.2.3.4	Estabilidade ao armazenamento.....	16
3.2.3.5	Morfologia.....	16
3.2.4	Métodos analíticos.....	17
3.2.4.1	Teor de umidade.....	17
3.2.4.2	pH.....	17
3.2.4.3	Teor de sólidos solúveis.....	17
3.2.4.4	Acidez.....	17
3.2.4.5	Antocianinas totais.....	17
3.2.4.6	Compostos fenólicos totais.....	18
3.2.4.7	Atividade antioxidante.....	18
3.2.5	Avaliação por cromatografia gasosa.....	18
3.2.5.1	Análise dos compostos voláteis - Análise semi-quantitativa.....	19
3.2.5.2	Identificação dos compostos voláteis – Análise qualitativa.....	19
3.2.5.3	Cálculo do índice de retenção.....	20
3.2.6	Análise estatística.....	20
4	RESULTADOS E DISCUSÃO.....	21
4.1	Caracterização Físico-química da Polpa de Morango.....	21
4.2	Caracterização da Polpa de Morango em Pó.....	22
4.2.1	Rendimento.....	22
4.2.2	Solubilidade e densidade aparente.....	22
4.2.3	Isotermas de sorção.....	23

4.2.4	Umidade.....	27
4.2.5	Estabilidade ao armazenamento.....	28
4.2.5.1	Antocianinas totais.....	29
4.2.5.2	Fenólicos totais.....	30
4.2.5.3	Atividade Antioxidante.....	31
4.2.6	Morfologia.....	32
4.2.7	Cromatografia gasosa.....	33
5	CONCLUSÕES.....	43
5.1	Recomendações de Pesquisa.....	44
6	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	45

1 INTRODUÇÃO

O morango é originário da Europa e foi introduzido no Brasil na década de 1930, mas seu cultivo comercial iniciou-se apenas em torno de 1960. Desde então, a sua produção vem crescendo em função da grande demanda dos consumidores e agroindústrias. O morango, além de ser saboroso e nutritivo, é um ingrediente em diversas preparações, tais como caldas, iogurtes, bebidas, biscoitos, bolos, sorvetes, geléias, entre outros. No entanto, possui uma produção sazonal, e é uma fruta muito delicada, que apresenta alta taxa respiratória, o que o torna muito perecível. É comercializado *in natura*, com vida útil restrita, e ainda como polpa congelada, para atender às agroindústrias, principalmente nos períodos fora da safra.

Uma aplicação de crescente interesse industrial é a produção de polpas e sucos de frutas desidratados por atomização. Com esta técnica é possível obter um produto com baixa atividade de água e elevado teor de sólidos, portanto, microbiologicamente mais estável, que pode ser armazenado a temperatura ambiente e utilizado durante o ano todo, além de permitir que substâncias sensíveis ao calor, luz ou oxidação sejam protegidas. O produto desidratado apresenta como vantagens o aumento da sua vida útil, a redução do volume e, conseqüentemente, dos custos de transporte e armazenamento e sua maior disponibilidade ao longo do ano.

O processo de atomização consiste basicamente na transformação de um produto no estado fluido para o estado sólido, pela dispersão de gotículas do material dentro de uma câmara, que entra em contato, por poucos segundos, com ar aquecido. A evaporação quase instantânea do solvente, em geral, água, permite manter a temperatura das partículas baixa, sem comprometer sua qualidade.

Em geral, sucos ou polpas de frutas contém alta concentração de açúcar, o que resulta em pós com baixa temperatura de transição vítrea e alta higroscopicidade, acarretando em problemas como adesão às paredes do secador e aglomeração. Portanto, se faz necessário a adição de agentes carreadores ao suco ou polpa de fruta facilitando a manipulação do pó, além de aumentar o rendimento do processo e a estabilidade do produto em condições ambientais pela formação de um filme protetor.

1.1 Objetivo

Neste contexto, este trabalho teve como objetivo principal a obtenção de polpa de morango em pó por atomização (*spray drying*).

Os objetivos específicos foram:

- Verificar a influência do uso de quatro diferentes agentes carreadores (maltodextrinas de 5 DE e de 10 DE, goma arábica e amido modificado Capsul) no rendimento do processo, nas propriedades físicas (densidade aparente, solubilidade e umidade) e morfológicas da polpa de morango em pó obtida por *spray drying*.
- Avaliar a estabilidade física dos pós produzidos com diferentes agentes carreadores, quando expostos a diferentes umidades relativas, através da construção de isotermas de sorção.
- Avaliar a estabilidade química (teor de antocianinas totais e de compostos fenólicos e de atividade antioxidante) dos pós armazenados à temperatura ambiente, na ausência de luz (acondicionados em embalagens laminadas), por 90 dias.
- Verificar a influência dos diferentes agentes carreadores na retenção dos compostos aromáticos voláteis da polpa de morango em pó.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Morango

O morangueiro pertence à família *Rosaceae* e gênero *Fragaria*. As espécies comercialmente importantes são as européias *Fragaria vesca* L. (diplóide), *F. moschata* Duch (hexaplóide) e *F. viridis* Duch (diplóide), as americanas *F. virginiana* Duch (octoplóide) e *F. chiloensis* L (octoplóides), as híbridas *F. virginiana* x *F. chiloensis* = *F. ananassa* (octoplóide) e as remontantes *F. ananassa* x *F. vesca* (SANHUEZA et al., 2005).

O cultivo de morango no Brasil é realizado nos Estados de São Paulo, Minas Gerais, Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, Espírito Santo, Rio de Janeiro e Distrito Federal (FILHO e CAMARGO, 2009). Os principais cultivares utilizadas provêm dos Estados Unidos, destacando-se *Aromas*, *Camarosa*, *Dover*, *Oso Grande* e *Sweet Charlie*, da Espanha: *Milsei-Tudla*, e dos programas de melhoramento genético da Embrapa Clima Temperado: *Bürkley*, *Santa Clara* e *Vila Nova* e do Instituto Agrônômico - IAC: *Campinas* (OLIVEIRA et al., 2005).

O cultivar *Oso Grande* tem sua origem na Universidade da Califórnia, EUA, em 1987. É um cultivar para mesa, que apresenta fruto grande, doce, com baixa acidez, de coloração vermelha intensa, com polpa firme e resistente ao manuseio e ao transporte. Por essas qualidades adquiriu grande aceitação no mercado. Sua produção é precoce, a partir de 60 dias após o plantio. O cálice é formado por sépalas verdes o que dá melhor apresentação à fruta na embalagem. É sensível a maioria dos fungos de solo (BERNARDI et al., 2005). A parte comestível é o morango, que é um pseudofruto não-climatérico (CHITARRA e CHITARRA, 2005). Os frutos verdadeiros são pequenos aquênios, vulgarmente denominados "sementes".

O morango é originário da Europa e foi introduzido no Brasil na década de 1930, mas seu cultivo comercial iniciou-se apenas em torno de 1960. E desde então, a sua produção vem crescendo em função da grande demanda dos consumidores e agroindústrias. O morango, além de delicioso e nutritivo é um ingrediente em diversas preparações, tais como caldas, iogurtes, bebidas, biscoitos, bolos, sorvetes, geléias, entre outros.

No entanto, além de ter uma produção sazonal, o morango é uma fruta muito delicada, que apresenta alta taxa respiratória, o que o torna muito perecível. É comercializado *in natura*, com vida útil restrita, e ainda como polpa congelada, para atender às agroindústrias, principalmente nos períodos fora da safra.

A cadeia produtiva do morango, dentro do conjunto dos cultivos dos pequenos frutos, é de importância destacada em termos econômicos e sociais, por mobilizar produtores com escalas produtivas bem variadas, que abrangem mercados dos globais aos locais (SPECHT e BLUME, 2009).

A produção brasileira de morango é de aproximadamente 105 mil toneladas anuais, obtida em uma área estimada de 3.500 ha, sendo que o maior produtor nacional é o Estado de Minas Gerais, que contribui com 31,4 % do total produzido, seguido de São Paulo com 29,52 % e Rio Grande do Sul, com 15,24 % (SEVERO, 2009).

Dentre as propriedades quando há um consumo regular de morango, destacam-se a sua ação antioxidante, a capacidade de reduzir a suscetibilidade a infecções (ROCHA et al., 2008).

Os compostos fenólicos são apontados como principais substâncias com atividade antioxidante. No morango, Jin et al. (2011) identificaram o ácido gálico como componente majoritário entre os compostos fenólicos.

A cor atrativa do morango é devido aos derivados de antocianidinas ligados a açúcares, porque as agliconas são raramente encontradas em plantas. A quantidade de antocianinas é importante para a avaliação da maturidade dos morangos (CORDENUNSI et al., 2005; GIL et al., 1997). Canuto (2011) e Cerezo et al. (2010) verificaram que a antocianina majoritária na polpa de morango é a pelargonidina 3-glicosídeo, quantificando e identificando as antocianinas por cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC) utilizando comparação com padrões e por cromatografia líquida com espectrometria de massa (LC-MS), respectivamente.

Durante a maturação dos frutos vários processos bioquímicos, fisiológicos e estruturais ocorrem pela ação de enzimas, alterando aroma, cor, textura e sabor. O aroma é uma das características determinantes da qualidade em frutos. Os compostos aromáticos são resultado de uma complexa interação entre açúcares, ácidos e compostos voláteis formados durante o amadurecimento dos frutos. Alguns compostos de origem fenólica e terpênica além de estarem associados à capacidade antioxidante dos frutos, também possuem propriedades aromáticas (SEVERO, 2009; CHITARRA e CHITARRA, 2005). Estes compostos voláteis têm origem no catabolismo de diversos precursores, incluindo aminoácidos, ácidos graxos e carotenóides.

Os ésteres são os principais contribuintes para o aroma na maioria dos frutos e são resultado da esterificação de alcoóis, com ação da álcool desidrogenase (ADH) liberando substrato para a álcool acetil transferase na rota de produção de ésteres (SEVERO, 2009).

Segundo Ulrich et al. (1997), o aroma de morango tem doze compostos importantes: butanoato de metila, butanoato de etila, hexanoato de metila, hexanoato de etila, linalol, γ -decalactone, ácido butanóico, 2-metil-ácido butanóico, ácido hexanóico, 4-hidroxi-2,5-dimetil-3(2H)-furaneol, 4-metoxi-2,5-dimetil-3(2H)- furaneol e antranilato de metila.

2.2 Secagem

A desidratação ou secagem é definida como a aplicação de calor sob condições controladas para remover por evaporação a maioria da água normalmente presente e livre em um alimento. Seu principal propósito é aumentar a estabilidade dos alimentos, através da diminuição da atividade de água, promovendo assim a inibição do crescimento microbiano e a atividade enzimática. Além de reduzir a densidade do produto, o que reduz os custos com transporte e armazenamento (FELLOWS, 2006).

A secagem como técnica de preservação é uma alternativa muito utilizada para aumentar a vida útil de suco e polpas de frutas (ALMEIDA, 2012). Atualmente os alimentos em pó vêm adquirindo mais espaço no mercado, visto que esses produtos reduzem os custos com embalagem, transporte, armazenamento e conservação além de agregar valor a matéria-prima e minimizar as perdas das características originais do produto natural (ALMEIDA, 2012; PARAMITA et al., 2010).

A atomização (*spray drying*) é o método de secagem mais utilizado na indústria de alimentos para o processamento de líquidos em pó, por ser econômico, flexível e contínuo (DZIEZAK, 1988; YOUSEFI et al., 2011), além de obter um produto com propriedades específicas como solubilidade instantânea (PARAMITA et al., 2010).

A operação de secagem em *spray dryer* consiste na atomização do líquido, pelo contato deste com o ar quente, ocorrendo a evaporação da água e a posterior separação do produto em pó do ar de secagem. De modo que a rápida evaporação da água permite manter baixa a temperatura das partículas. Todas estas fases interferem nas características do pó final. A maneira de atomizar e as propriedades do líquido atomizado influenciam o tamanho da partícula sólida, sua densidade, aparência e umidade. O tipo de contato líquido – ar quente e a evaporação influenciam não só essas características, como também a capacidade de retenção

de aroma e sabor, enquanto a técnica de separação do pó do ar seco influencia a granulometria do produto desejado (DZIEZAK, 1988; JACKSON e LEE, 1991; RÉ, 1998).

O processo consiste basicamente na atomização do líquido em um compartimento que recebe um fluxo de ar quente, de modo que a rápida evaporação da água permite manter baixa a temperatura das partículas. Desta forma, esta técnica permite a secagem de produtos sensíveis ao calor (alimentícios, biológicos e farmacêuticos), sem afetar demasiadamente sua qualidade (AZEREDO, 2005; GAVA et al., 2009; RÉ, 1998).

Segundo Barros e Stringheta, (2006), cada vez mais, os produtos com ingredientes artificiais têm sido questionados por parte da população preocupada em consumir produtos de origem natural. Portanto o uso de ingredientes naturais em produtos alimentícios é uma tendência atual.

De acordo com pesquisas realizadas (ANSELMO et al., 2006; BARBOSA 2010; BEZERRA, 2009; FERRARI et al., 2012a; PAGANI, 2010; SILVA et al. 2008; TONON et al., 2009a) este processo é promissor na secagem de produtos ricos em açúcar, como sucos ou polpas de fruta, uma vez que resulta em produtos com volume muito reduzido, facilitando o transporte e armazenamento, e aumentando a vida de prateleira.

No entanto, no caso dos sucos de frutas, o alto conteúdo de açúcares pode acarretar a obtenção de produtos com alta pegajosidade e higroscopicidade, diminuindo o rendimento do processo. Portanto, é fundamental a utilização de agentes carreadores com alto peso molecular – como polímeros e gomas – antes da atomização, visando facilitar o processo de secagem e as operações de transporte e armazenamento (BHANDARI et al., 1997).

Um dos principais fatores que influenciam a estabilidade de sucos de frutas em pó é a natureza do agente carreador. Os principais materiais utilizados na encapsulação de aromas são: carboidratos, amidos, maltodextrinas, gomas e proteínas (MADENE et al., 2006; SHAHIDI e HAN, 1993). Os carboidratos são os materiais mais utilizados como agentes carreadores, devido à sua capacidade de se ligar a compostos de sabor, além de sua diversidade e baixo custo.

A maioria das pesquisas atuais avaliam o processo de secagem utilizando vários agentes carreadores: (CANO-CHAUCA et al., 2005; TONON et al., 2010), até mesmo estudando a mistura deles em diferentes proporções (ANSELMO et al., 2006; CARNEIRO et al., 2013; MATA et al., 2005; SILVA et al., 2010; VALDUGA et al., 2008).

2.2.1 Isotermas de sorção

A tendência de um material em adsorver água do ambiente onde se encontra define a sua higroscopicidade, uma característica fundamental dos produtos alimentícios que pode influenciar os processos de: manipulação, processamento, estocagem e consumo (LABUZA, 1968).

O estudo da higroscopicidade dos alimentos pode ser feito através das isotermas de sorção, que consistem em curvas que descrevem a relação entre o conteúdo de umidade e a atividade de água (a_w) de um produto, à temperatura e pressão constantes (FORTES e OKOS, 1978; LABUZA, 1968).

Segundo Labuza et al. (1985), as isotermas de sorção são consideradas ferramentas importantes para as indústrias de alimentos, uma vez que fornecem informações úteis para operações relacionadas ao processamento, tais como secagem, embalagem e armazenamento, sendo empregadas no cálculo do tempo de secagem, na seleção de embalagens, na modelagem das alterações na umidade do produto durante a estocagem e nos estudos de vida de prateleira, muito importantes no caso de produtos em pó.

Em alimentos muito secos pequenas variações na umidade provocam grandes mudanças na atividade de água (a_w). Nas isotermas de sorção de água podem-se distinguir três zonas pouco delimitadas que indicam a forma como a água está ligada nos alimentos (Figura 2.1) (ORDOÑEZ et al., 2005).

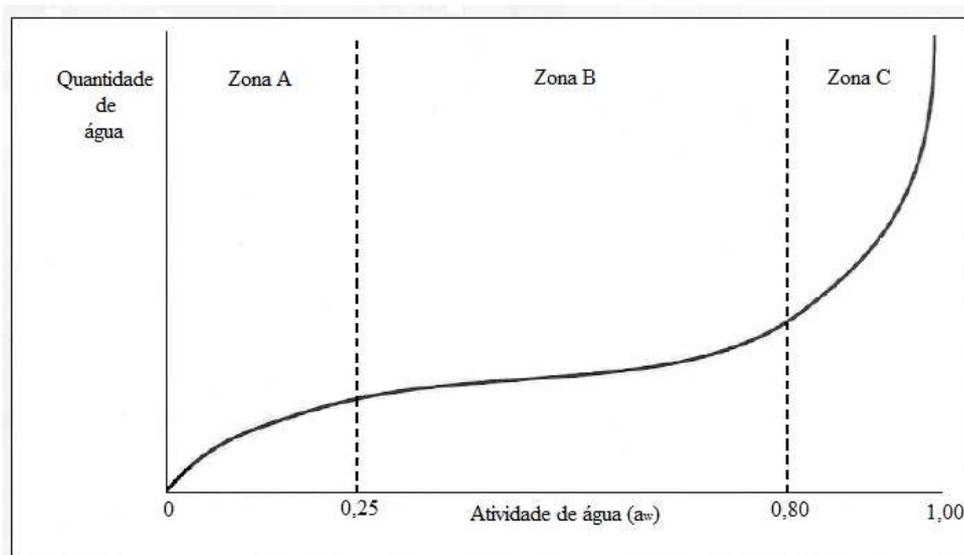


Figura 2.1. Isoterma de sorção de água de alimento com baixa quantidade de água.

A zona A é aquela onde a água está mais fortemente ligada e menos móvel. Corresponde a água da camada monomolecular fixa aos grupos polares de certos compostos. É muito difícil de extrair, não é congelável, e não se encontra disponível para atuar como solvente ou reativo. Constitui uma quantidade muito pequena da água total no alimento e corresponde a uma a_w inferior a 0,2 até 0,3. O limite entre as zonas A e B é chamado de monocamada de BET (ORDOÑEZ et al., 2005).

A monocamada é o limite de umidade abaixo do qual podem iniciar reações químicas indesejáveis e há o favorecimento da elevação do consumo de energia, para que se possa eliminar a quantidade residual de água do alimento (SALWIN, 1963).

Na zona B a água corresponde às camadas de hidratação dos constituintes solúveis (proteínas, sais, açúcares, e outros). Em sua maioria, está ligada por pontes de hidrogênio e interações dipolo-dipolo. O ponto de congelamento e a capacidade solvente da água encontram-se muito reduzidos, mas a a_w está entre 0,2-0,3 e 0,8 aproximadamente (ORDOÑEZ et al., 2005).

A zona C é a que representa a maior parte da água dos tecidos frescos. é a água menos ligada e a mais móvel dos alimentos, embora o ponto de congelamento esteja um pouco reduzido. É a responsável pela alteração dos alimentos, já que está disponível para o desenvolvimento de microrganismos e para as reações químicas. Equivale a a_w de 0,80 a 0,99 (ORDOÑEZ et al., 2005).

A taxa de mudança da a_w em uma isoterma de sorção difere dependendo da umidade a ser removida do alimento (dessorção) ou adicionada ao alimento seco (adsorção). A falta de sobreposição entre as curvas é denominado histerese (Figura 2.2). Essa diferença pode ser grande em alguns alimentos e é importante para a determinação da proteção necessária contra o ganho de umidade (FENNEMA et al., 2010).

Esse fenômeno é particularmente importante nos produtos desidratados que precisam ser reidratados para sua comercialização. Eles apresentam atividade de água ligeiramente superior à esperada, com o conseqüente perigo de deterioração. E também deve ser levado em consideração quando se trabalha com alimentos acondicionados muito higroscópicos (ORDOÑEZ et al., 2005).

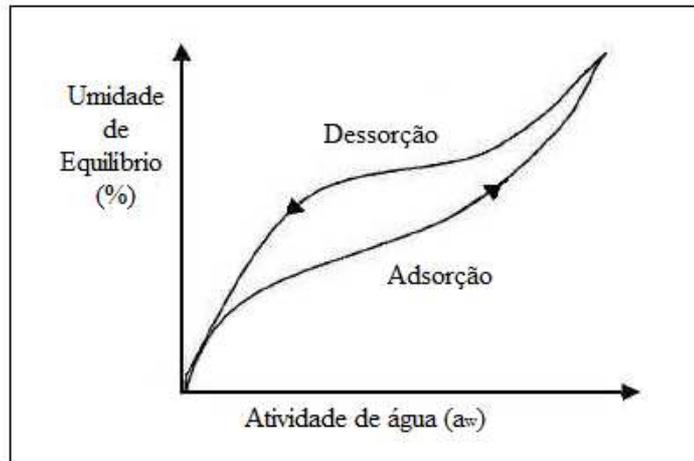


Figura 2.2 . Histerese das isotermas de sorção de água (ORDOÑEZ et al., 2005).

Se um alimento é seco a uma umidade inferior àquela que ele normalmente possui quando em equilíbrio com o ambiente, ela irá retornar ao valor da umidade de equilíbrio durante o armazenamento ou manuseio, a menos que sejam tomadas precauções especiais (LOMAURO et al., 1985).

As isotermas podem ser classificadas de acordo com os formatos, que podem ser de cinco tipos, apresentados na Figura 2.3. As isotermas de maior interesse, para alimentos, são as do tipo II e III (BRUNAUER et al., 1938).

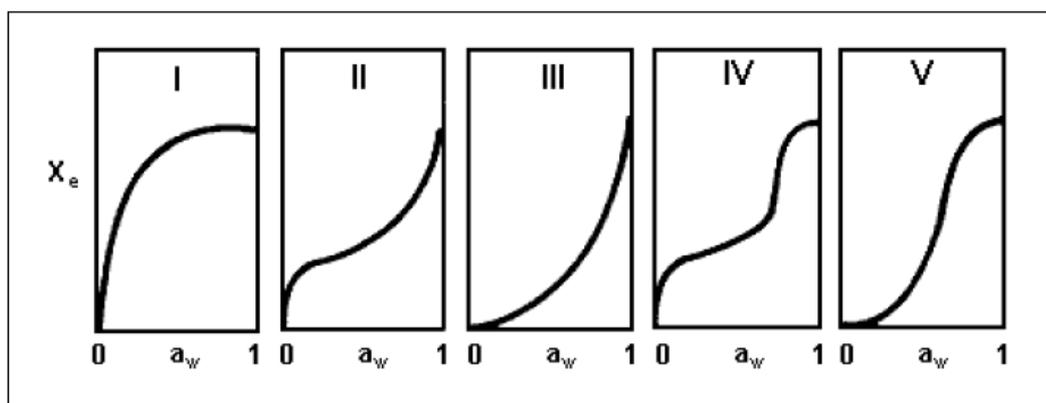


Figura 2.3. Tipos de isotermas de sorção (BRUNAUER et al., 1938).

2.3 Compostos Fenólicos

Os compostos fenólicos podem ser divididos em dois grupos: os flavonóides e os não flavonóides, sendo que ambos são compostos de baixo peso molecular, denominados metabólitos secundários, presentes em frutas e vegetais. Os flavonóides englobam uma classe muito importante de pigmentos naturais e têm a estrutura química C6-C3-C6, sendo que as duas partes da molécula com seis carbonos são anéis aromáticos (BOBBIO e BOBBIO, 1995).

Os compostos fenólicos são apontados como principais substâncias com atividade antioxidante. Dentre os compostos fenólicos em morango, Zheng et. al. (2007) encontraram em seus estudos o ácido gálico como componente majoritário.

Com relação aos não flavonóides, são classificados como: os derivados das estruturas químicas C6-C1 específicas dos ácidos hidroxibenzoico, gálico e elágico; os derivados das estruturas químicas C6-C3 específicas dos ácidos caféico e p-cumárico hidroxicinâmico e os derivados das estruturas químicas C6-C2-C6 específicas do trans-resveratrol, cis-resveratrol e transresveratrol-glicosídeo (BURNS et al., 2001).

Os flavonóides têm uma estrutura química constituída de dois anéis aromáticos que são ligados por uma cadeia de três átomos de carbono, que formam um heterociclo oxigenado. Podem ser divididos em classes baseado na sua estrutura molecular (compostos fenólicos) (MANACH et al., 2004).

A estrutura básica dos flavonóides consiste de 15 carbonos distribuídos em dois anéis aromáticos, A e B (Figura 2.4) interligados via carbono heterocíclico do pirano. Conforme o estado de oxidação da cadeia heterocíclica do pirano, têm-se diferentes classes de flavonóides: antocianinas, flavonóis, flavonas, isoflavonas, flavononas e flavonas (KING e YOUNG, 1999; VOLP et al., 2008).

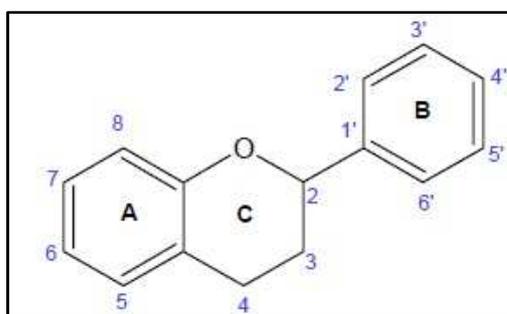


Figura 2.4. Estrutura básica dos flavonóides.

Os flavonóides são derivados tanto da rota metabólica via ácido chiquímico, quanto da via do ácido malônico, e sua estrutura é composta por dois anéis aromáticos, onde cada uma destas rotas é responsável por fornecer um anel aromático para a estrutura dos flavonóides. Esse grupo de compostos fenólicos vem sendo estudado devido às suas propriedades (FAVARO, 2008).

Pigmentos naturais que são responsáveis pela coloração de flores, frutas e vegetais são chamados de agentes cromóforos e estão inseridos em três classes importantes: as porfirinas, os carotenóides e os flavonóides. Estes são subdivididos em 11 classes menores, sendo que as mais importantes são: flavanas, flavanonas, flavonas, isoflavonas, flavonóis e antocianinas, ilustradas na Figura 2.4 (FAVARO, 2008).

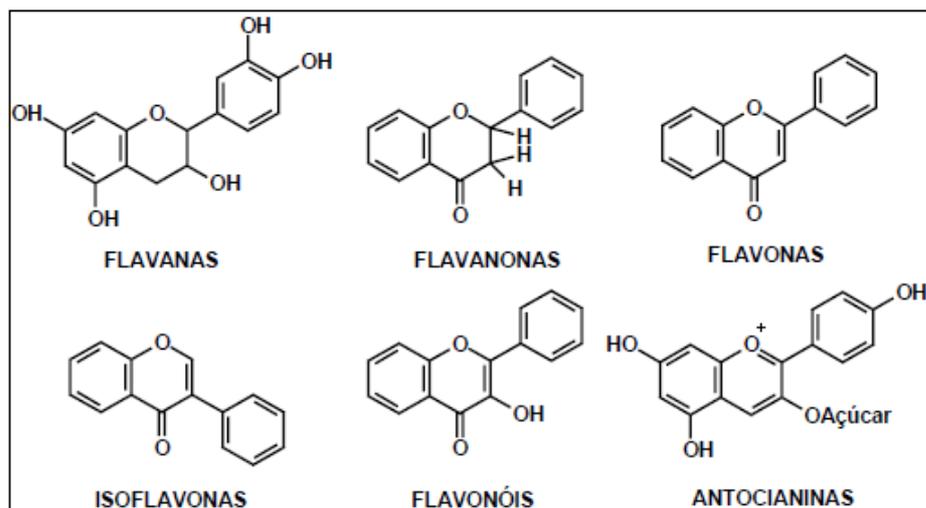


Figura 2.5. Estrutura química dos principais tipos de flavonóides (Fonte: FAVARO, 2008).

O método frequentemente utilizado para determinar o teor de fenólicos totais em alimentos é o de Follin-Ciocalteu. Este método baseia-se na redução dos ácidos Fosfomolibdênico ($H_3PMo_{12}O_{40}$) e Fosfotungístico ($H_3PW_{12}O_{40}$) presentes no reagente de Folin-Ciocalteu, pelos fenólicos presentes na amostra a óxido de tungstênio (W_8O_{23}) e óxido de molibdênio (Mo_8O_{23}), em meio alcalino. Estes óxidos formados apresentam coloração azulada e a intensidade desta reflete a quantidade de polifenóis, sendo possível a quantificação da absorvância da solução na região do visível (760 nm). Através de uma curva de calibração de ácido gálico é possível correlacionar a intensidade da cor à concentração de fenóis presentes na amostra, sendo o resultado expresso em equivalente de ácido gálico (GAE) (SINGLETON e ROSSI, 1965).

2.4 Antocianinas Totais

As antocianinas são metabólitos pertencentes à classe dos flavonóides. São largamente encontradas na natureza e responsáveis pela maioria das colorações azuis, violeta e vermelho das flores e frutos, sendo sua principal utilização na indústria, como corante natural (JACKMAN e SMITH, 1996; MALACRIDA e MOTTA, 2005; MARKAKIS, 1982).

A deficiência natural de elétrons das antocianinas faz esses compostos serem particularmente reativos, apresentando também uma grande sensibilidade a mudanças de pH e temperatura. Os polifenóis são doadores efetivos de hidrogênio. As antocianinas são incluídas na lista dos compostos naturais capazes de agir como potentes antioxidantes. Seu potencial antioxidante é regulado por suas diferenças na estrutura química. Variando a posição e os tipos de grupos químicos nos anéis aromáticos das antocianinas, a capacidade de aceitar elétrons desemparelhados de moléculas de radicais também varia (GALVANO et al., 2004). Seu potencial antioxidante também é dependente do número e da posição dos grupos hidroxilas e sua conjugação, assim como da presença de elétrons doadores no anel da estrutura, devido à capacidade que o grupo aromático possui de suportar o desaparecimento de elétrons (KUSKOSKI et al., 2004).

As antocianinas mais frequentes em frutos são derivadas das aglicanas, pertencentes a 6 compostos antociânicos básicos: pelargonidina (morango, amora), cianidina (jabuticaba, figo, cereja, uva, ameixa), delphinidina (romã, maracujá) malvinidina (uva), peonidina (uva e cereja) todas com hidroxilas nas posições 3, 5 e 7 (WU e PRIOR, 2005). Sendo a pelargonidina 3-glicosídeo a antocianina majoritária no morango (CANUTO, 2011; CERZO et al., 2010).

Os alimentos de origem vegetal apresentam compostos não nutrientes (fitoquímicos) com atividades biológicas ditas promotoras da saúde, tais como atividade antioxidante, entre estes podemos citar as antocianinas dos frutos vermelhos (PINTO, 2008). Essa atividade se deve a sua estrutura química formada por três anéis, que possuem ligas duplas conjugadas e também hidroxilas distribuídas ao longo da estrutura que possibilitam o sequestro de radicais livres, causadores de danos celulares e doenças degenerativas (SILVA et al., 2007).

As antocianinas presentes em morangos atuam como poderosos antioxidante. Recentemente, Zhang et. al. (2005) constataram o efeito inibitório das antocianinas cianidina, delphinidina, pelargonidina, petunidina e malvidina na proliferação de células cancerígenas humanas, originadas em diferentes órgãos do corpo: estômago, cólon, mama, pulmão e sistema nervoso central.

A metodologia mais utilizada na quantificação de antocianinas em polpa ou sucos de frutas é a de pH diferencial, proposta inicialmente por Fuleki e Francis (1968) e modificada por Giusti e Wrolstad (2001). Esta metodologia permite a quantificação das antocianinas totais e monoméricas em função do comportamento espectral diferenciado das monoméricas em relação às poliméricas em condições de pH distintas. Em função dos comprimentos de onda empregados é possível eliminar a interferência de compostos de degradação. A amostra é submetida a dois tampões aquosos distintos, pH 1,0 e 4,5, e as soluções obtidas têm a absorvância medida em dois comprimentos de onda, 700nm e comprimento de máxima absorção ($\lambda_{\text{máx}}$), que pode variar de 510 a 550nm em função das antocianinas presentes na amostra. As antocianinas têm sua cor intensificada em pH 1,0 e não são capazes de absorver a 700nm, onde somente os compostos de degradação, interferentes, absorvem. Portanto, a diferença entre a leitura obtida no $\lambda_{\text{máx}}$ e a 700nm da solução de pH 1,0 indicam a concentração das antocianinas totais. No entanto, em pH 4,5, somente as antocianinas monoméricas assumem a forma hemiquetal, a qual é incolor, e a diferença entre as leituras nos dois comprimentos de onda a pH 1,0 é subtraída da diferença entre as leituras nos dois comprimentos de onda a pH 4,5, correspondendo às antocianinas monoméricas.

2.5 Capacidade Antioxidante

A capacidade antioxidante de frutos e hortaliças está associada com a presença de compostos que possuem capacidade de inativar radicais livres. Os benefícios à saúde obtidos através de uma dieta rica em frutos e vegetais são, em grande parte, atribuídas aos altos níveis e a grande variedade de compostos fitoquímicos, como os de origem fenólica (SEVERO, 2009).

Os compostos com atividade antioxidante provenientes da dieta são importantes porque podem ajudar a suprir a deficiência e também oferecer proteção, prevenção ou redução dos efeitos causados pelo estresse oxidativo, devido ao fato do nosso organismo naturalmente produzir radicais livres, além do que estes aumentam quando há o contato com a poluição e o tabagismo, altamente instáveis os radicais livres vão procurar se estabilizar em biomoléculas, como aquelas presentes nas membranas celulares e até mesmo ácidos nucleicos, podendo desencadear mutações podendo ocasionar doenças como o câncer (HUANG et al., 2005; PIETTA, 2000; SEVERO, 2009).

Os principais antioxidantes não enzimáticos provenientes da dieta, são os carotenóides, o alfa-tocoferol (vitamina E), o ácido ascórbico (vitamina C) e compostos fenólicos (como ácidos fenólicos, flavonóis, antocianinas) e terpenóides (como carotenos e licopenos). Sendo que estes estão presentes em número e concentração maiores do que os antioxidantes enzimáticos e distribuídos em ambientes lipofílicos e hidrofílicos (HUANG et al., 2005; PIETTA, 2000; SEVERO, 2009).

A eficiência antioxidante de compostos bioativos em alimentos de origem vegetal depende da estrutura e da concentração destes no alimento. E a quantidade destes compostos é amplamente influenciada por fatores genéticos e condições ambientais, além é claro do grau de maturação e variedade da planta, entre outros aspectos.

O método do ABTS baseia-se na regeneração do cátion $ABTS^+$ presente no meio pela ação das substâncias antioxidantes. A capacidade de regenerar é expressa pela quantidade necessária da substância capaz de inibir um percentual equivalente à capacidade de inibição de 1mmol de Trolox – TEAC (atividade antioxidante equivalente ao Trolox). Com este procedimento pode-se medir a atividade de compostos tanto de natureza hidrofílica quanto lipofílica (RE et al, 1999).

2.6 Compostos voláteis

Os compostos aromáticos são resultado de uma complexa interação entre açúcares, ácidos e compostos voláteis formados durante o amadurecimento dos frutos (CHITARRA e CHITARRA, 2005). Os ésteres são os principais contribuintes para o aroma na maioria dos frutos (SCHIPILLITI et al., 2011; ULRICH et al., 1997).

A elevada utilização da Cromatografia Gasosa (CG) e os consequentes desenvolvimentos tecnológicos resultaram numa excelente técnica de separação que possibilita a detecção de analitos praticamente puros, a CG prepara os analitos para identificação e quantificação. Como técnica analítica ela depende da qualidade da etapa de preparo da amostra, pois quase nenhuma matriz pode ser diretamente injetada num cromatógrafo gasoso. Este é o caso típico de análise de matrizes de origem vegetal, que via de regra contém além de particulados não voláteis, termodegradáveis, água em quantidades incompatíveis com as colunas cromatográficas e detectores de CG (VALENTE e AUGUSTO, 2000).

Portanto, a viabilização da análise por CG depende de um método adequado de preparo da amostra. Dentre as técnicas de extração normalmente utilizadas para concentrar analitos, destacam-se a extração líquido-líquido (LLE), a extração com fluido supercrítico (SFE), a extração em fase sólida (SPE) e, mais recentemente, a micro extração em fase sólida (SPME) (BARRIONUEVO e LANÇAS, 2001).

A SPME preserva todas as vantagens da SPE, tais como simplicidade, baixo custo, fácil automação, e facilidade de amostragem em campo e, ao mesmo tempo, elimina desvantagens da SPE, tais como o entupimento do cartucho e o uso de solventes (BARRIONUEVO e LANÇAS, 2001).

A SPME é uma microtécnica, em que os processos de extração e pré-concentração de analitos ocorrem numa escala dimensional que não é das mais usuais. Numa extração por SPME as moléculas do analito tem de se deslocar da matriz e penetrar no recobrimento e, para isto, resistências a transferências de massa devem ser vencidas, até que se estabeleça um equilíbrio de partição (ou de adsorção, para o caso de recobrimentos sólidos) do analito, entre a fibra e o meio que a envolve. Portanto, a teoria de SPME baseia-se na adsorção dos analitos em uma fibra de sílica coberta com uma camada de sorvente. (VALENTE e AUGUSTO, 2000).

O método consiste na adsorção dos analitos em uma fibra capilar de sílica fundida quimicamente modificada, recoberta com uma película de material apropriado, com posterior dessorção térmica no injetor de um cromatógrafo. Uma vez introduzida no septo do recipiente contendo a amostra, a fibra de sílica é exposta ao meio onde ocorrerá a extração dos analitos (DÓREA et al., 2008).

A fase extrativa pode ser posicionada diretamente na fase líquida ou, no caso de amostras gasosas, em contato com o gás, ou ainda, em contato com o vapor em equilíbrio com a amostra líquida ou sólida. Após um certo período de tempo, necessário para que se estabeleça o equilíbrio entre as fases envolvidas, a fibra é reposicionada no interior da agulha. Em seguida, a seringa é levada a um cromatógrafo a gás, onde a fibra é introduzida no seu injetor, ficando exposta a ação do calor os analitos são dessorvidos e o processo de separação/quantificação então tem início (DÓREA et al., 2008).

A técnica de SPME em *headspace* combinada com a cromatografia gasosa de espectrometria de massas (CG-MS) obteve um bom resultado na análise de componentes voláteis de polpa de morango (SCHIPILLITI et al., 2011), de néctar de caju (VALIM, 2003), de polpas de cupuaçu, cajá, siriguela e graviola (AUGUSTO et al., 2000), de suco de kiwi (FIGOLI, 2010), de voláteis de extrato aquoso de café (OLIVEIRA, 2007), de café torrado e moído (RIBEIRO et al., 2009).

3 MATERIAL E MÉTODOS

Esta pesquisa foi realizada na Planta Piloto e Laboratórios da Embrapa Agroindústria de Alimentos.

3.1 Material

3.1.1 Matéria-prima

Morangos da cultivar *Oso Grande* foram adquiridos no mercado local do Rio de Janeiro. Eles foram selecionados e posteriormente higienizados para serem então despulpados em uma despulpadeira Bonina 0,25 df (Itametal, Itabuna, Bahia, Brasil), equipada com uma peneira de 0,6 mm. A polpa foi posteriormente filtrada, para diminuir o teor de sólidos em suspensão, de modo a facilitar a sua passagem pelo bico atomizador. A polpa foi envasada em embalagem laminada de 1L e mantida congelada até sua utilização.

3.1.2 Agentes carreadores

Foram utilizados 4 agentes carreadores: maltodextrinas GLOBE 1905[®], de 5 DE, e MOR-REX 1910[®] de 10 DE (Corn Products, São Paulo, Brasil), goma arábica Instantgum BA[®] (Colloides Naturels, São Paulo, Brasil) e o amido modificado Capsul TA[®] (National Starch, São Paulo, Brasil).

3.2 Métodos

3.2.1 Caracterização da matéria-prima

A polpa de morango foi caracterizada em relação a pH, sólidos solúveis totais (°Brix), acidez total titulável, sólidos totais, antocianinas totais, fenólicos totais e atividade antioxidante, de acordo com os métodos descritos no item 3.2.4.

3.2.2 Secagem por atomização

Cada formulação, na proporção de 1:2 de sólidos solúveis da polpa de morango:agente carreador, foi homogeneizada por agitação em placa magnética até a completa solubilização. Em seguida, foi submetida à secagem por atomização em um mini *spray dryer* Buchi Modelo B-190 (Figura 3.1), operando sob as seguintes condições:

- pressão de atomização: 7 bar;
- vazão média de ar de secagem: 700 L/h;
- temperatura do ar de entrada: $180 \pm 5^{\circ}\text{C}$;
- temperatura do ar de saída: $90 \pm 5^{\circ}\text{C}$;
- vazão média de alimentação: 15mL/min;



Figura 3.1 Mini *spray dryer*.

3.2.2.1 Rendimento

Calculou-se o rendimento (R) do processo de atomização da polpa de morango através da Equação 1, expressando o resultado em porcentagem.

$$R = \frac{M}{ST_a} \times 100 \quad (1)$$

Onde: M = Massa de pó seco;

ST_a = Quantidade de sólidos totais na alimentação.

As embalagens laminadas foram utilizadas para acondicionar os pós de polpa de morango atomizados e armazená-los em dessecador à temperatura ambiente.

3.2.3 Caracterização da polpa de morango em pó

3.2.3.1 Densidade aparente

A densidade aparente (ρ_{ap}) foi determinada transferido-se 1 g do pó de morango atomizado para uma proveta graduada. O pó foi compactado batendo-se a proveta 50 vezes sobre a bancada (TONON, 2009). A densidade foi calculada de acordo com a Equação (2).

$$\rho_{ap} = \frac{m}{V} \quad (2)$$

Onde: m é a massa (g);

V é o volume (mL) da amostra.

3.2.3.2 Solubilidade

A solubilidade foi determinada pelo método descrito por Eastman e Moore (1984), modificado por Cano-Chauca et al. (2005), que consiste na adição de 0,5 g de amostra em um recipiente contendo 50 ml de água destilada, sob agitação magnética de 1000 rpm, por 5 minutos, seguida por centrifugação a 4500 rpm, por 5 minutos.

Uma alíquota de 12,5 ml do sobrenadante é levada à estufa a 105°C, até peso constante, e a solubilidade é calculada pela diferença de peso. Expressa em g/100g.

3.2.3.3 Isotermas de sorção

A umidade de equilíbrio das amostras de polpa de morango em pó foi determinada pelo método gravimétrico estático (LABUZA, 1984), para uma determinada faixa de umidade relativa, de acordo com a Tabela 3.1.

As amostras desidratadas foram pesadas em balança analítica antes de serem armazenadas nos oito dessecadores com as respectivas soluções salinas saturadas em água destilada, mantidas a temperatura ambiente - 25°C. Semanalmente, todas as amostras foram novamente pesadas até que o equilíbrio fosse atingido – até peso constante (cerca de cinco semanas). Depois que o equilíbrio foi atingido, a umidade de equilíbrio das amostras foi calculada somando-se a quantidade de água adsorvida ao teor de umidade inicial de cada amostra.

Tabela 3.1. Dados de atividade de água (a_w) das soluções salinas saturadas a 25°C.

Sais	Atividade de água (a_w)	Umidade relativa
LiCl	0,112	11,2
CH ₃ COOK	0,226	22,6
MgCl ₂	0,328	32,8
K ₂ CO ₃	0,432	43,2
Mg(NO ₃) ₂	0,529	52,9
KI	0,689	68,9
NaCl	0,753	75,3
KCl	0,843	84,3

Fonte: GREENSPAN (1977).

Os dados experimentais obtidos para as quatro amostras de polpa de morango em pó foram ajustados pelos seguintes modelos encontrados na literatura para isotermas de sorção: BET, GAB, Halsey, Oswin, Henderson e Peleg (Tabela 3.2).

Tabela 3.2. Modelos matemáticos utilizados para o ajuste de isotermas de sorção do pó.

Modelo	Equação
BET (Brunauer et al., 1938)	$X_e = \frac{X_m C_{BET} a_w [1 - (N + 1)] (a_w)^N + N (a_w)^{N+1}}{(1 - a_w) [1 - (1 - C_{BET}) a_w - C_{BET} (a_w)^{N+1}]} \quad (3)$
GAB (Van den Berg, 1985)	$X_e = \frac{X_m C_{GAB} K_{GAB} a_w}{[(1 - K_{GAB} a_w)(1 - K_{GAB} a_w + C_{GAB} K_{GAB} a_w)]} \quad (4)$
Halsey (Halsey, 1948)	$a_w = \exp\left(\frac{-A}{X_e^B}\right) \quad (5)$
Oswin (Lomauro et al., 1985)	$X_e = C \left(\frac{a_w}{1 - a_w}\right)^D \quad (6)$
Henderson (Henderson, 1952)	$1 - a_w = \exp(-k_H X_e^{n_H}) \quad (7)$
Peleg (Peleg, 1993)	$X_e = K_A a_w^{n_A} + K_B a_w^{n_B} \quad (8)$

Onde: X_e é a umidade de equilíbrio (g água/g sólidos secos);
 X_m é a umidade na monocamada molecular (g água/g sólidos secos);
 a_w é a atividade de água; N é o número de camadas moleculares;
 C_{BET} , C_{GAB} , K_{GAB} , A , B , C , D , k_H , n_H , K_A , K_B , n_A e n_B são constantes;

Os parâmetros destes modelos foram determinados por análise de regressão não linear dos dados experimentais, realizada com o auxílio da ferramenta Solver do *software* Microsoft Excel® (Microsoft, Redmond, EUA). Os critérios de escolha dos melhores ajustes foram o coeficiente de determinação (R^2), o desvio percentual médio ($P\%$), e o desvio quadrático médio (DQM). Estes dois últimos foram calculados de acordo com as Equações 9 e 10, respectivamente.

$$P\% = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|X_{eExp} - X_{eMod}|}{X_{eExp}} \quad (9)$$

Onde: $P\%$ é o desvio percentual médio;
 X_{eExp} é a umidade obtida experimentalmente;
 X_{eMod} é a umidade predita através dos modelos;
 n é o número de observações experimentais.

$$DQM = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{eMod} - X_{eExp})^2}{n}} \quad (10)$$

Onde: DQM é o desvio quadrático médio;
 X_{eExp} é a umidade obtida experimentalmente;
 X_{eMod} é a umidade predita através dos modelos;
 n é o número de observações experimentais.

3.2.3.4 Estabilidade ao armazenamento

Para o estudo da estabilidade, as amostras de polpa de morango em pó foram estocadas ao abrigo da luz em embalagens flexíveis de alumínio revestidas com polietileno e colocadas em dessecadores à temperatura ambiente, durante 90 dias, sendo avaliadas periodicamente (1, 15, 30, 45, 60, 90 dias) com relação aos teores de antocianinas totais, fenólicos totais e atividade antioxidante.

3.2.3.5 Morfologia

O estudo da morfologia das partículas das quatro amostras de polpa de morango em pó foi realizado por microscopia eletrônica de varredura (MEV), no Laboratório Multiusuário de Microscopia Eletrônica e Microanálise – PEMM-COPPE/UFRJ. As amostras foram fixadas em porta-espécimes metálicos (*stubs*), com uma fita adesiva de dupla face condutora e metalizadas com uma liga de ouro/paládio em um EDS da marca Thermo Electron, modelo System Six. As amostras foram então observadas em um microscópio eletrônico de varredura da marca JEOL LTD modelo JSM-6460LV, operando com 15 kV.

3.2.4 Métodos analíticos

3.2.4.1 Teor de umidade

A determinação da umidade por gravimetria foi realizada em estufa a vácuo a 70°C, até peso constante (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008).

3.2.4.2 pH

Para a determinação do pH, foi utilizado o pHmetro Metrohm modelo 785 DMP Titrimo, com leitura direta a 25°C (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008).

3.2.4.3 Teor de sólidos solúveis

Para a determinação do teor de sólidos solúveis totais utilizou-se um refratômetro do tipo Abbé, modelo Bellingham + Stanley Limited, com escala em graus Brix (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008).

3.2.4.4 Acidez

A acidez total foi determinada pelo método potenciométrico em titulador automático Metrohm modelo 785 DMP Titrimo, utilizando solução de hidróxido de sódio (NaOH) com concentração de 0,1M (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008).

3.2.4.5 Antocianinas totais

A determinação do teor de antocianinas totais foi realizada pelo método do pH diferencial descrito por Giusti e Wrolstad (2001), acrescentando-se uma etapa de filtração da amostra em papel de filtro tarja preta, para eliminar os sólidos em suspensão, facilitando a determinação da absorvância da solução.

A amostra foi pesada em um balão e adicionou-se a solução tampão de pH 1,0, homogeneizou-se e deixou em repouso por 25 min. Filtrou-se e leu-se a absorvância a 510 e 700 nm. Os resultados foram expressos em mg/100g de amostra. A concentração das antocianinas totais foi calculada através da Equação 11.

$$AT = \frac{(Abs_{510} - Abs_{700}) \times MM \times \frac{FD}{m} \times 100}{\varepsilon} \quad (11)$$

Onde: Abs₅₁₀ é a leitura da absorvância em 510 nm;

Abs₇₀₀ é a leitura da absorvância em 700 nm;

MM é a massa molar da antocianina principal da amostra (PGN - Pelargonidina 3-glicosídeo);

FD é o fator de diluição da amostra;

ε é o coeficiente de extinção molar;

m é a massa de amostra pesada;

Dados: Massa Molar da PGN = 433,2 g

Coeficiente de extinção molar da PGN: 2,908 x 10⁴

3.2.4.6 Compostos fenólicos totais

A concentração total de compostos fenólicos foi determinada pelo método de Singleton e Rossi (1965), baseado na reação com o reagente de Folin-Ciocalteu. As amostras de polpa de morango em pó foram extraídas por uma solução de acetona a 7% sob agitação magnética durante 30 minutos. O extrato foi filtrado e em seguida submetido à reação de Folin-Ciocalteu, que se baseia na redução, pelos compostos fenólicos em meio alcalino, dos ácidos Fosfomolibdênico ($H_3PMo_{12}O_{40}$) e Fosfotungístico ($H_3PW_{12}O_{40}$), presentes no reagente de Folin-Ciocalteu, a óxido de tungstênio (W_8O_{23}) e óxido de molibdênio (MO_8O_{23}), promovendo alteração na coloração da solução para azul.

A cada ensaio com amostra foi realizada uma corrida em branco utilizando-se solução de acetona aquosa a 7% ao invés da amostra.

A quantificação dos compostos fenólicos totais foi feita por leitura espectrofotométrica a 760 nm, através de uma curva de calibração de ácido gálico, sendo os valores expressos em mg equivalentes de ácido gálico/100g de amostra. O teor de compostos fenólicos totais é a diferença entre os valores obtidos para o extrato bruto e do branco.

3.2.4.7 Atividade antioxidante

A parte da extração da atividade antioxidante foi determinada segundo o método espectrofotométrico descrito por Rufino et al. (2007) e a parte da quantificação de acordo com o método de Re et al. (1999), baseado na descoloração do radical livre $ABTS^+$ (ácido 2,2'-azino-bis-3-etilbenzotiazolína-6-sulfônico sal diamônio).

A amostra foi extraída em solução de metanol a 50% (primeira solução extratora), homogeneizada e deixada em repouso por 1 hora protegida da luz. Logo em seguida a solução foi centrifugada a 2000 rpm por 15 minutos. Após a centrifugação o sobrenadante foi transferido para um balão ao abrigo da luz e o precipitado foi dissolvido na solução de acetona 70% (segunda solução extratora), esta mistura ficou em repouso por mais 1 hora protegida da luz. E foi também centrifugada a 2000 rpm por 15 minutos. O segundo sobrenadante obtido foi misturado ao primeiro e aferiu-se o balão com água destilada. Este extrato foi congelado. Sendo a leitura realizada no dia seguinte, para padronizar a análise.

O radical $ABTS$ consiste na reação de 5 mL de solução aquosa de $ABTS$ 7mM e 88 μ L de solução de persulfato de potássio a 140 mM. A mistura permaneceu no escuro por no mínimo 14h e somente após esse tempo, no momento da análise, pode ser diluída com etanol 95% para obter absorvância de $0,700 \pm 0,020$ a 734 nm. A alíquota de 30 μ L do extrato da amostra reagiu com 3mL daquela solução etanólica de $ABTS$ na ausência da luz. O decréscimo da absorvância a 734 nm foi medido após 6 min da reação. Para cada experimento, foi feito um branco, onde a amostra foi substituída por etanol 95%.

Os resultados foram expressos como TEAC (Capacidade Antioxidante Equivalente ao Trolox) em μ mol de Trolox/g de amostra, utilizando uma curva de calibração de trolox (6-hidroxi - 2,5,7,8 - tetrametilcromo - 2 - ácido carboxílico 97% de pureza).

3.2.5 Avaliação dos compostos voláteis por cromatografia gasosa

Para a avaliação qualitativa e semi-quantitativa do perfil dos compostos voláteis presentes nas amostras, utilizou-se a técnica de cromatografia gasosa para análise do pó atomizado no primeiro e no último dia de armazenagem (90 dias) e da polpa *in natura*.

Para a extração dos voláteis foi utilizada a técnica de microextração em fase sólida (SPME), em *headspace* com fibra Supelco de 2 cm de comprimento com revestimento de divinilbenzeno-carboxen-polidimetilsiloxano (DVB/CAR/PDMS).

Para todas as amostras utilizou-se 1 grama para a extração, sendo que as desidratadas foram diluídas em água destilada na proporção 1:1, totalizando também 1 grama, pesadas em balança analítica diretamente em frascos de vidro com capacidade de 4 mL e tampas com septo de PTFE/silicone.

A seguir mantidas sob agitação magnética por 1h, a 60°C, em placa de agitação com aquecimento, a fim de alcançar o equilíbrio entre a fase líquida e a fase vapor. Posteriormente, a fibra foi exposta à amostra, na fase gasosa, em *headspace*, sob agitação magnética e a 60°C, por 15 minutos. Estas condições basearam-se no trabalho de Schipilliti et al. (2011).

No início do dia, a fibra era acondicionada por 30 minutos antes da primeira injeção e entre as injeções realizava-se a limpeza da fibra por 10 minutos, no cromatógrafo gasoso.

A dessorção térmica dos voláteis adsorvidos na fibra ocorreu imediatamente após a extração no injetor do cromatógrafo aquecido a 250°C, por 3 minutos. As amostras foram injetadas no modo *splitless*, ou seja, sem divisão de fluxo. Os experimentos foram realizados em triplicata. O tempo total de análise foi de 79,667 minutos.

3.2.5.1 Análise dos compostos voláteis - Análise semi-quantitativa

A semi-quantificação do perfil de compostos voláteis foi realizada em cromatógrafo gasoso Agilent 6890N, equipado com detector de ionização de chama (FID) e coluna capilar de baixa polaridade com fase estacionária composta de 5%-difenil-95%-dimetilpolisiloxano (HP5) 30m de comprimento, 0,25mm de diâmetro interno e 0,25µm de espessura do filme.

A programação de temperatura do forno foi de 3 min a 40°C, seguida de aquecimento até 240°C a 3°C/min, permanecendo por 10 min a 240°C; as temperaturas do injetor e do detector foram 250°C e 280°C, respectivamente. O gás de arraste utilizado foi hidrogênio (1,7mL/min).

3.2.5.2 Identificação dos compostos voláteis – Análise qualitativa

O perfil de voláteis das amostras desidratadas foi identificado através do cromatógrafo gasoso Agilent 6890 acoplado a espectrômetro de massas 5973N, coluna capilar com fase estacionária 5% difenil 95% dimetilpolisiloxano (HP5 MS) 30m de comprimento, 0,25mm de diâmetro interno e 0,25µm de espessura do filme, seguindo as outras condições segundo análise de cromatografia gasosa anteriormente descrita.

O detector foi operado nas temperaturas de 150°C para o quadrupolo, 230°C para a fonte de íons e 260°C na linha de transferência. O método de ionização usado foi o de impacto eletrônico com energia de ionização de 70eV e varredura de 35-550 u.m.a.

A identificação dos constituintes foi realizada por comparação dos espectros de massas da amostra com os disponíveis na biblioteca do equipamento (Wiley 6ª ed.), e também com base nos índices de retenção obtidos experimentalmente confrontados aos descritos na literatura (Adams, 2001). A identificação foi considerada por tentativa quando foi baseada apenas na comparação dos espectros da amostra com os do Nist (2013). A descrição sensorial dos compostos foi obtida através de Flavornet (2013).

3.2.5.3 Cálculo do índice de retenção

O cálculo do índice de retenção foi realizado injetando uma mistura de padrões de alcanos de C₇-C₂₆, no CG-EM sob as mesmas condições de análise das amostras em estudo e foi determinado o tempo de retenção de cada hidrocarboneto. O índice de retenção dos componentes foi determinado pela equação 12, conforme descrito por Adams (2001).

$$IR = 100 \times C_n + 100 \times \frac{\log Tr_{subst.} - \log Tr_{C_n}}{\log Tr_{C_{n+1}} - \log Tr_{C_n}} \quad (12)$$

Onde: IR é o índice de retenção;

C_n é o número de átomos de carbono n.

Tr_{subst.} é o tempo de retenção de cada substância da amostra.

TrC_n e TrC_{n+1} referem-se aos tempos de retenção dos hidrocarbonetos de números de átomos de carbono n e n+1, menor e maior do que o tempo de retenção do composto desconhecido da amostra, respectivamente.

3.2.6 Análise estatística

Todas as análises foram realizadas em triplicata e os valores foram expressos como resultado da média de três determinações com o desvio padrão. Para a análise estatística de todos os resultados, a partir do delineamento inteiramente casualizado e a análise de variância utilizou o programa computacional ASSISTAT versão 7.6 BETA (2012)(SILVA, 1996). A comparação entre médias foi feita pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância (p<0,05) (GOMES, 1987).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização Físico-química da Polpa de Morango

Os valores das análises físicas e químicas da polpa de morango *in natura* podem ser observados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1. Composição físico-química da polpa de morango.

Análises	Valores
Acidez Total Titulável (g ácido cítrico/100mL de polpa)	0,84 ± 0,06
pH	3,55 ± 0,01
Sólidos Solúveis Totais (°Brix)	6,00 ± 0,05
Sólidos Totais (g/100g de polpa)	6,79 ± 0,09
Antocianinas Totais (mg/100g)	19,33 ± 0,61
Fenólicos Totais (mg/100g)	139,48 ± 13,48
Atividade Antioxidante (TEAC) (µmol Trolox/g)	13,03 ± 0,36

O teor de Sólidos Solúveis Totais (°Brix) foi similar aos valores encontrados na literatura de 7,2° Brix por Conti et al. (2002), de 7,0 °Brix por Júnior et al. (2012) e por Resende et al. (2008) de 6,2 °Brix por Krolow et al. (2007) e de 7,35 °Brix por Malgarim et al. (2006).

O teor de antocianinas da polpa de morango foi similar aos valores de de 23,70 mg/100g e 20,07 mg/100g encontrados respectivamente por Kuskoski et al. (2006) e Zheng et al. (2005) e maior do que 12,52 mg/100g valor encontrado por Bezerra et al. (2009)

A concentração de compostos fenólicos foi similar a 136,90 mg/100g e 132,1mg/100g encontrados respectivamente por Holzwarth et al. (2012) e por Kuskoski et al. (2006), mas superior aos valores de 90,90mg/100g e 102 mg/100g verificados respectivamente por Bezerra et al. (2009) e Zheng et al. (2007) e bem inferior ao valor de 208,40mg/100g encontrado por Ornelas-Paz et al. (2013).

No entanto, Bezerra et al. (2009) encontrou apenas 5,57 µmol Trolox/g de atividade antioxidante.

As diferenças encontradas nas características físicas e químicas da polpa de morango com os valores da literatura podem ser justificadas de espécie, cultivar, maturidade, condições climáticas, entre outros parâmetros que influenciam a qualidade do morango.

A composição de sólidos solúveis presentes na polpa de morango é majoritariamente constituída de açúcares (6°Brix, em 6,79% de sólidos totais), o que justifica a adição de agentes carreadores de elevada massa molar antes da secagem por atomização, como uma forma alternativa para aumentar a transição vítrea (T_g) do pó, evitando problemas como pegajosidade e empastamento, tanto no interior do equipamento como no produto processado (BHANDARI et al., 1993; TRUONG et al., 2005). Assim como foi observado por Mosquera et al. (2012), Tonon et al. (2009a) e Ferrari et al. (2012a), respectivamente em polpa de morango liofilizada, suco de açaí e polpa de amora-preta atomizados.

4.2 Caracterização da Polpa de Morango em Pó

4.2.1 Rendimento

Como pode ser verificado na Tabela 4.2, o agente carreador que resultou no maior rendimento do pó foi o amido modificado, Capsul[®].

Tabela 4.2. Rendimento das amostras produzidas com diferentes agentes carreadores.

Agentes Carreadores	Rendimento (%)
Maltodextrina 5DE	44,44
Maltodextrina 10DE	44,44
Goma Arábica	38,89
Capsul [®]	50,00

Segundo a literatura, os agentes carreadores mais utilizados na desidratação de polpas ou sucos de frutas são a goma arábica e as maltodextrinas, principalmente por estas por apresentarem baixo custo.

Muitos trabalhos na literatura reportam o microencapsulamento como uma alternativa tecnológica para proteger moléculas bioativas obtidas da extração de cascas, folhas e sementes de vegetais.

Augusta (2011) utilizou maltodextrina de 10DE como agente carreador para microencapsular corante extraído da casca de jambo, obtendo rendimentos de 52 a 78 % para suas formulações com diferentes concentrações de agente carreador.

Landim (2008) utilizou maltodextrina 20DE e goma arábica para microencapsular extratos de urucum e de açaí visando obter um corante natural e reportou um rendimento de 25% e 72%, respectivamente.

O tipo de agente carreador e sua concentração também afeta as propriedades de suco de fruta em pó. Almeida (2012) utilizou 10% de maltodextrina 20DE e de goma arábica para microencapsular suco probiótico de abacaxi e obteve rendimentos de 54% e 57%, respectivamente.

Pagani (2010) utilizou maltodextrina de 20DE e goma arábica para microencapsular suco de acerola e reportou rendimentos de 31% e 24%, respectivamente. Já Righetto (2003) reportou rendimentos na faixa de 72% a 80%, utilizando os mesmo agentes carreadores para microencapsular suco de acerola verde. Estes resultados demonstram que a formulação e as condições de processo são importantes variáveis tanto em relação ao rendimento como na questão da qualidade do pó.

No presente trabalho, o baixo valor de rendimento no processo de atomização pode ser atribuído à aderência da amostra já desidratada às paredes do equipamento, principalmente, no ciclone e na torre de secagem, além do fato do trabalho ter sido realizado em escala de laboratório.

4.2.2 Solubilidade e densidade aparente

Os valores de solubilidade e densidade do pó da polpa de morango atomizada com diferentes agentes carreadores podem ser observados na Tabela 4.3.

As amostras produzidas com o Capsul[®] e maltodextrinas apresentaram solubilidades semelhantes e ligeiramente superiores à observada para a amostra produzida com goma arábica.

Como esperado, todas as amostras apresentaram alta solubilidade, uma vez que estes agentes carreadores caracterizam-se por sua alta solubilidade em água. Estes resultados são apropriados especialmente quando se deseja aplicar a polpa de morango em pó como ingrediente em produtos como bebidas e preparados de sobremesas instantâneos.

Tabela 4.3. Solubilidade das partículas produzidas com diferentes agentes carreadores.

Agentes Carreadores	Solubilidade (g/100g)	DensidadeAparente (g/cm³)
Maltodextrina 5DE	90,37 ± 1,27 ^{ab}	0,41 ± 0,002 ^c
Maltodextrina 10DE	91,01 ± 1,74 ^a	0,40 ± 0,004 ^d
Goma Arábica	87,15 ± 1,44 ^b	0,47 ± 0,003 ^b
Capsul [®]	91,44 ± 0,45 ^a	0,52 ± 0,002 ^a

Letras diferentes indicam diferença estatisticamente significativa entre as amostras produzidas com diferentes agentes carreadores ($p \leq 0.05$).

Resultados semelhantes foram observados por Cano-Chauca et al. (2005) na avaliação de suco de manga atomizado com maltodextrina 10 DE, goma arábica e amido ceroso, Oliveira (2008) no suco de caju atomizado com maltodextrina de 10DE. Yousefi et al. (2011) estudaram o efeito dos agentes carreadores, tais como maltodextrina, goma arábica e amido ceroso na solubilidade de suco de romã em pó. O resultado mostrou que a menor solubilidade foi observada em suco de romã em pó obtido da formulação com amido ceroso.

Barbosa (2010) observou um valor mais elevado de solubilidade para uma mistura de frutas (cajá, manga e mamão) atomizada com 12 % de maltodextrina 10DE.

Os pós apresentaram valores significativamente diferentes de densidade aparente. Resultados semelhantes também foram verificados por Ferrari et al. (2012b), que caracterizaram polpa de amora-preta encapsulada com maltodextrina e com goma arábica, apresentando valores de densidade aparente de 0,409 e 0,424, respectivamente. De modo geral, um material se acomoda mais facilmente nos espaços entre as partículas, quanto mais pesado for, ocupando menor volume e resultando em maior densidade. Os amidos são compostos basicamente por amilose e amilopectina, sendo que o segundo apresenta maior massa molar. A grande maioria dos amidos contém cerca de 20-30% de amilose e 70-80% de amilopectina, sendo que esta razão varia de acordo com a fonte botânica (FRANCO et al. 2002).

A maltodextrina é um polissacarídeo obtido pela hidrólise do amido. Quanto mais hidrolisado o amido, menor sua densidade, uma vez que as ligações rompidas resultam em cadeias menores e mais leves. Dessa forma, a amostra produzida com maltodextrina 5DE apresentou maior densidade do que a produzida com maltodextrina 10DE. A goma arábica é constituída por cadeias de polissacarídeos (ácido D-glucorônico, L-ramnose, D-galactose, L-arabinose) e proteína de alta massa molar (BE MILLER e WHISTLER, 1996), o que pode justificar sua maior densidade em relação às maltodextrinas. O Capsul[®], amido modificado derivado de milho ceroso, é constituído quase que totalmente por amilopectina e apresenta um grau de dextrose equivalente (DE) menor do que 2 (KUNTZ, 1997; PARAMITA et al., 2012), o que poderia explicar maior densidade aparente do pó de morango obtido com este agente carreador.

4.2.3 Isotermas de sorção

Segundo HENAO (2008) as isotermas de sorção de umidade em pesquisas de alimentos são usadas para vários propósitos, principalmente como determinação do tempo de

secagem ou, ainda, previsões para misturar e embalar alimentos, prevendo as mudanças de umidade que ocorrem durante a armazenagem e, conseqüentemente, a sua estabilidade.

Os dados experimentais da umidade de equilíbrio obtidos a 25°C para as amostras atomizadas de polpa de morango podem ser observados na Tabela 4.4.

Os valores da umidade de equilíbrio (X_e) aumentaram com o aumento da atividade de água (a_w). Esse resultado é semelhante aos verificados por Alexandre et al. (2007), que estudaram o processo de obtenção de polpa de pitanga em pó; e por Paglarini et al. (2013) e Silva et al. (2008), que determinaram as isotermas de sorção em polpa de manga e de açaí e cupuaçu em pó, respectivamente.

Tabela 4.4. Valores experimentais da umidade de equilíbrio (X_e) nas diferentes atividades de água (a_w) para as amostras produzidas com diferentes tipos de agentes carreadores.

a_w	Umidade de Equilíbrio - X_e (g/g matéria seca)			
	MD5	MD10	GA	CAP
0,112	0,007 ± 0,000	0,008 ± 0,000	0,007 ± 0,001	0,007 ± 0,001
0,226	0,016 ± 0,000	0,014 ± 0,000	0,017 ± 0,000	0,022 ± 0,002
0,328	0,025 ± 0,000	0,032 ± 0,000	0,024 ± 0,001	0,041 ± 0,006
0,432	0,040 ± 0,000	0,055 ± 0,001	0,049 ± 0,001	0,066 ± 0,000
0,529	0,070 ± 0,001	0,088 ± 0,001	0,077 ± 0,001	0,103 ± 0,001
0,689	0,133 ± 0,000	0,159 ± 0,000	0,150 ± 0,000	0,193 ± 0,000
0,753	0,175 ± 0,000	0,202 ± 0,000	0,193 ± 0,000	0,249 ± 0,001
0,843	0,292 ± 0,000	0,328 ± 0,001	0,321 ± 0,001	0,383 ± 0,001

MD5 = Maltodextrina 5DE; MD10 = Maltodextrina 10DE; GA = Goma Arábica; CAP = Amido Modificado, Capsul®.

Na Tabela 4.5 estão apresentados os valores dos parâmetros estimados, obtidos por regressão não linear dos modelos de BET, GAB, Halsey, Oswin, Henderson e Peleg, para o ajuste das isotermas de adsorção da polpa de morango atomizada, assim como o coeficiente de determinação (R^2), o desvio quadrático médio (DQM) e o desvio percentual médio ($P\%$).

Oliveira et al. (2006) ao avaliarem a umidade de equilíbrio de casca de maracujá em pó testando diferentes modelos matemáticos obtiveram, a temperatura ambiente para o modelo de GAB, valores de X_m semelhantes aos encontrados pela amostra atomizada com maltodextrina de 5 DE.

Para determinar o melhor ajuste dos modelos aos dados experimentais observou-se: o coeficiente de determinação (R^2), o desvio percentual médio ($P\%$), definido como a média da porcentagem de diferença relativa entre valores experimentais e preditos (LOMAURO et al., 1985) e o desvio quadrático médio (DQM). Este mesmo critério foi também escolhido por Fiorentin et al. (2010) para a secagem em estufa de resíduo agroindustrial de bagaço de laranja; Henao et al. (2009) e Paglarini et al. (2013) também usaram estes critérios quando avaliaram a secagem de grãos de café e de polpa de manga, respectivamente.

Segundo Lomauro et al. (1985), um modelo apresenta um bom ajuste quando o valor do R^2 está próximo da unidade e o valor do ($P\%$) é inferior a 10%, sendo então o ajuste considerado adequado para aplicações práticas. Neste trabalho, todos os modelos apresentaram um excelente ajuste aos dados experimentais de umidade de equilíbrio.

Tabela 4.5. Parâmetros de ajuste das isotermas de sorção de polpa de morango em pó produzido com diferentes agentes carreadores.

Modelos	Parâmetros	Agentes Carreadores			
		MD5	MD10	GA	CAP
BET	X_m	0,053	0,058	0,058	0,068
	C_{BET}	1,259	1,695	1,317	1,923
	N	125,00	125,50	104,64	134,26
	DQM	0,004	0,007	0,006	0,010
	P (%)	1,170	1,870	1,440	2,010
	R^2	0,998	0,995	0,997	0,994
GAB	X_m	0,091	0,080	0,080	0,215
	C_{GAB}	0,616	1,241	1,000	0,452
	K_{GAB}	0,931	0,946	0,940	0,836
	DQM	0,003	0,007	0,008	0,002
	P (%)	0,570	1,850	1,570	0,830
	R^2	0,999	0,999	0,999	1,000
Halsey	A	0,050	0,050	0,050	0,050
	B	1,097	1,268	1,141	1,000
	DQM	0,008	0,020	0,008	0,018
	P (%)	5,000	5,750	4,880	4,250
	R^2	0,999	0,998	0,998	0,991
Oswin	C	0,060	0,074	0,067	0,092
	D	0,949	0,890	0,938	0,746
	DQM	0,000	0,000	0,000	0,007
	P (%)	1,170	1,810	1,440	3,070
	R^2	0,998	0,997	0,998	0,999
Henderson	K_H	3,927	3,879	3,745	3,560
	n_H	0,605	0,655	0,614	0,678
	DQM	0,000	0,000	0,000	0,000
	P (%)	3,110	1,410	2,440	0,330
	R^2	0,998	0,998	0,999	1,000
Peleg	K_A	0,640	1,122	1,135	0,585
	n_A	9,694	14,632	14,562	8,016
	K_B	0,239	0,338	0,333	0,321
	n_B	2,001	2,124	2,273	1,851
	DQM	0,000	0,000	0,000	0,000
	P (%)	2,910	2,310	4,280	0,650
	R^2	0,999	1,000	0,999	1,000

(MD5 = Maltodextrina 5DE; MD10 = Maltodextrina 10DE; GA = Goma Arábica; CAP = Amido Modificado, Capsul®).

Onde: X_e é a umidade de equilíbrio (g água/g sólidos secos);
 X_m é a umidade na monocamada molecular (g água/g sólidos secos);
 N é o número de camadas moleculares;
 C_{BET} , C_{GAB} , K_{GAB} , A , B , C , D , k_H , n_H , K_A , K_B , n_A e n_B são constantes;
 DQM é o valor do desvio quadrático médio;
 $P\%$ é o desvio percentual médio;
 R^2 é o coeficiente de determinação.

O valor da umidade na monocamada (X_m) de um alimento, normalmente fornece uma estimativa do conteúdo de água no qual se tem a estabilidade máxima de um produto desidratado, logo o conhecimento desse valor é de importância prática.

Os valores de X_m obtidos para a polpa de morango variaram de 5,3 a 6,8% de acordo com o modelo de BET e de 8,0 a 21,5%, para o modelo de GAB. Valores semelhantes foram observados por Paglarini et al. (2013) e Bezerra (2009) em polpa de manga em pó, Gomes et al. (2002) em polpa de acerola em pó e Oliveira et al. (2011) em polpa de sapoti liofilizado.

O maior valor de X_m foi verificado para a amostra que utilizou o Capsul[®] como agente carreador, que apresentou o maior valor de solubilidade, portanto possui um número maior de sítios ativos, com afinidade por moléculas de água, fazendo com que um número maior de moléculas de água fiquem retidas na monocamada.

O modelo de GAB foi o que apresentou os menores valores de desvio quadrático médio (DQM) e desvio percentual médio ($P\%$) juntamente com os maiores valores para o coeficiente de determinação (R^2), portanto, este modelo foi escolhido para representar as isotermas de sorção da polpa de morango em pó para os diferentes agentes carreadores (Figura 4.1).

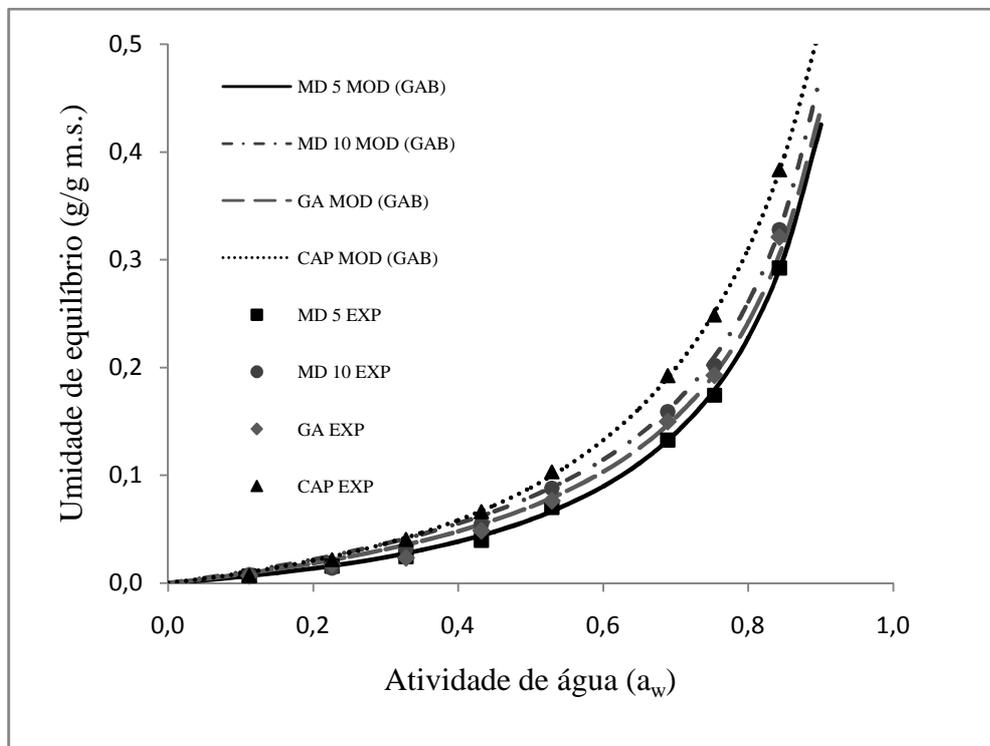


Figura 4.1. Isotermas de sorção da polpa de morango em pó produzida com diferentes agentes carreadores, ajustadas pelo modelo de GAB.

(MD5 = Maltodextrina 5DE; MD10 = Maltodextrina 10DE; GA = Goma Arábica; CAP = Amido Modificado, Capsul[®]; MOD = modelo; EXP = experimental).

O modelo de GAB foi também o que melhor se ajustou aos dados experimentais de isotermas de sorção de pedúnculos de caju secos em estufa (ALCÂNTARA et al., 2009); polpa de acerola em pó (GOMES et al., 2002); polpa de caju (MOURA et al., 2004); resíduo agroindustrial de casca de abacaxi triturada (OLIVEIRA et al., 2005); casca de maracujá em pó (OLIVEIRA et al., 2006); polpa de sapoti liofilizado (OLIVEIRA et al., 2011); polpa de manga em pó (PAGLARINI et al., 2013); polpa de cupuaçu em pó (SILVA et al., 2008); barra de cereais formuladas com resíduo industrial do maracujá amarelo (SILVA et al., 2009); preparo sólido para refresco de abacaxi (SOUZA, 2007).

Segundo Gregg e Sing (1967), os alimentos que possuem elevadas concentrações de açúcar, como a maior parte das frutas, apresentam isotermas de sorção que se assemelham às isotermas do tipo II e do tipo III. Quando C_{BET} tem um valor positivo menor que 2, o resultado é uma curva com formato de isoterma do tipo III, sendo a curva inteiramente convexa em relação ao eixo de atividade de água.

De acordo com a classificação de Brunauer et al. (1938), as curvas obtidas para polpa de morango em pó apresentaram formato do tipo III. Este tipo de curva também foi observado por Barbosa (2010) em suco em pó de mistura de frutas; por Brandelero et al. (2005) em abacaxis desidratados em solução de sacarose recobertos com gelatina ou alginato; por Dib Taxi (2001) em suco de camu-camu microencapsulado com maltodextrina e goma arábica; por Gomes et al. (2002) em polpa de acerola em pó; por Gurjão (2006) para tamarindo em pó; por Klewichi et al. (2009) em maçã, amarena, e cassis em pó e por Oliveira (2006) em polpa de pitanga em pó; por Oliveira et al. (2006) em casca de maracujá seca em estufa; por Silva et al. (2008) em açaí e cupuaçu em pó; por Tonon et al. (2009b) em suco de açaí atomizado com maltodextrinas, goma arábica e fécula de mandioca. Já Righetto (2003) observou curvas tanto do tipo II, quanto do tipo III em suco de acerola verde microencapsulado com maltodextrinas e goma arábica.

Os resultados apresentados revelam que a higroscopicidade apresentou valor crescente de acordo com os agentes carreadores a seguir: Maltodextrina 5DE, Goma arábica, Maltodextrina 10DE e Capsul[®].

Essa diferença na adsorção de água pode ser explicada pela estrutura química de cada agente carreador. A maltodextrina 5DE é menos hidrolisada que a maltodextrina 10DE, apresentando menos grupos hidrofílicos e maior peso molecular e, conseqüentemente, adsorvendo menos água (CAI e CORKE, 2000; ERSUS e YURDAGEL, 2007).

A goma arábica, por sua vez, também apresenta um grande número de ramificações com grupos hidrofílicos em sua estrutura (BE MILLER e WHISTLER, 1996), que pode ser responsável pela adsorção de água do ambiente.

O Capsul, por ser um amido modificado, pode ter sofrido alguma alteração em sua estrutura que tenha aumentado sua capacidade em adsorver água do ambiente, em relação aos demais agentes carreadores.

4.2.4 Umidade

Na Tabela 4.6 estão apresentados os valores de umidade para as amostras produzidas com os diferentes agentes carreadores. Todas as amostras apresentaram diferença estatística significativa entre si no primeiro dia, enquanto após noventa dias de armazenamento, as amostras apresentaram valores maiores e mais próximos entre si, indicando que adsorveram umidade durante o armazenamento.

Tabela 4.6. Umidade das partículas produzidas com diferentes agentes carreadores.

Agentes Carreadores	Umidade (% B. U.)	
	1º Dia	90º Dia
Maltodextrina 5DE	2,27 ± 0,06 ^{bB}	3,63 ± 0,11 ^{bA}
Maltodextrina 10DE	1,85 ± 0,02 ^{cB}	3,88 ± 0,10 ^{abA}
Goma Arábica	2,45 ± 0,03 ^{aB}	4,13 ± 0,10 ^{aA}
Capsul [®]	1,73 ± 0,01 ^{dB}	3,83 ± 0,07 ^{bA}

Letras diferentes indicam diferença estatisticamente significativa a $p \leq 0.05$.

Letras minúsculas indicam comparação dos diferentes agentes para o mesmo dia.

Letras maiúsculas indicam comparação para o mesmo agente carreador nos diferentes dias.

Resultados semelhantes foram observados por Figueirêdo et al. (2001) em suco de acerola atomizado com 15% de maltodextrina e 5% goma arábica armazenado por 360 dias e por Tonon et al. (2009c) em suco de açaí atomizado com 10% de maltodextrina de 10DE. Já Moura (2010) em suco de acerola atomizado com maltodextrina e goma arábica não observou diferença estatística significativa na umidade durante os 360 dias de armazenamento.

Oliveira (2006) analisou amostra de pitanga em pó coletada do ciclone (Tipo B) e da câmara (Tipo A) e constatou que a amostra do Tipo B absorveu mais umidade que a do Tipo A, cujo comportamento era previsto, pelo fato do pó do Tipo B possuir partículas de tamanho menores, as quais têm área superficial maior e mais propícia à troca de umidade com o ambiente. O presente trabalho utilizou apenas amostras coletadas do ciclone o que é mais uma justificativa à absorção de umidade após o armazenamento.

4.2.5 Estabilidade ao armazenamento

As antocianinas são pigmentos muito instáveis que podem ser degradadas sob ação do oxigênio, temperatura, pH, ou até mesmo destruídas durante o processo e armazenamento dos alimentos. Portanto, representa um parâmetro adequado para se avaliar a estabilidade do pó atomizado de morango ao armazenamento.

Na Tabela 4.7 pode-se observar as análises químicas do teor de antocianinas totais, de fenólicos e da atividade antioxidante dos pós produzidos com diferentes agentes carreadores no 1º dia. Para as análises de antocianinas totais e fenólicos os agentes carreadores apresentaram diferença estatística, exceto os agentes maltodextrina 10DE e o capsul que obtiveram resultados próximos. Já os valores da atividade antioxidante apresentaram diferença estatística entre todos os agentes carreadores utilizados.

Tabela 4.7. Análises químicas dos pós produzidos com diferentes agentes carreadores no 1º dia.

Agentes carreadores	Antocianinas totais (mg/100g)	Fenólicos (mg/100g)	Atividade antioxidante (µmol de Trolox/g)
Maltodextrina 5DE	81,05 ^C	66,43 ^C	48,69 ^C
Maltodextrina 10DE	84,24 ^B	70,72 ^B	50,17 ^B
Goma Arábica	90,42 ^A	82,22 ^A	57,73 ^A
Capsul [®]	85,12 ^B	72,28 ^B	45,17 ^D

Letras diferentes indicam diferença estatisticamente significativa a $p \leq 0.05$.

4.2.5.1 Antocianinas totais

Na Figura 4.2 observa-se o teor de antocianinas totais durante ao armazenamento das amostras atomizadas com diferentes agentes carreadores. Não houve diferença estatística significativa entre as amostras produzidas com o mesmo agente carreador, ao longo dos 90 dias de armazenamento, indicando que todos os materiais conferiram estabilidade à polpa de morango. Entretanto, as amostras produzidas com diferentes agentes carreadores apresentaram diferença significativa entre si, em todos os tempos de armazenamento avaliados.

Moura (2010) e Pagani (2010) ambos em suco de acerola atomizado utilizando maltodextrina de 20DE e goma arábica como agentes carreadores e Tonon et al. (2010) em suco de açaí atomizado com maltodextrinas, goma arábica e fécula de mandioca, também observaram diferença estatística significativa entre as amostras produzidas com diferentes agentes carreadores, ao longo do armazenamento.

Canuto (2011) e Cerezo et al. (2010) em polpa de morango, através da quantificação de antocianinas por cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC) e identificação por comparação com padrões e LC-MS, respectivamente. Verificaram que a antocianina majoritária é a pelargonidina 3-glicosídeo. Portanto os dados de massa molar e de coeficiente de extinção molar desta antocianina foram utilizados nos cálculos do teor de antocianinas.

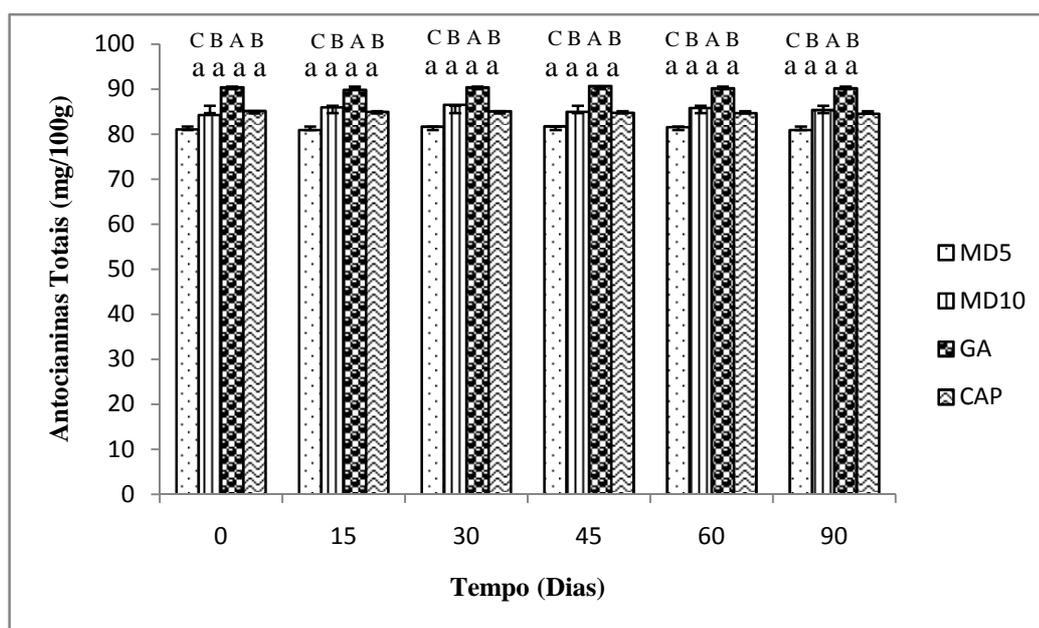


Figura 4.2. Evolução do teor de antocianinas totais para amostras de morango em pó com os diferentes agentes carreadores ao longo do armazenamento a 25°C.

(MD5 = Maltodextrina 5DE; MD10 = Maltodextrina 10DE; GA = Goma Arábica; CAP = Amido Modificado, Capsul[®]).

*Letras minúsculas indicam comparação para o mesmo agente carreador nos diferentes dias.

*Letras maiúsculas indicam comparação dos diferentes materiais para o mesmo dia.

O pó produzido com goma arábica apresentou o maior teor de antocianinas totais após o processo de secagem, seguido pelas amostras produzidas com maltodextrina 10DE e Capsul[®], enquanto o produto obtido com maltodextrina 5DE apresentou o menor valor.

A amostra produzida com goma arábica apresentou uma densidade aparente elevada e solubilidade ligeiramente inferior às demais, o que pode ter levado a uma difusão do oxigênio a uma velocidade mais lenta (DESOBRY et al., 1997), retardando, assim, a oxidação das antocianinas.

Diferentemente do presente trabalho, Pagani (2010) constatou que a maltodextrina de 20DE foi o agente que protegeu melhor o suco de acerola seco por *spray drying*, retendo mais antocianinas inicialmente e durante o período de 90 dias de armazenamento. Comportamento semelhante foi observado por Tonon et al. (2010), para suco de açaí em pó produzido com maltodextrina 10DE, por um período de 60 dias de armazenamento.

4.2.5.2 Fenólicos totais

Na Figura 4.3 observa-se o teor de fenólicos totais durante o armazenamento das amostras atomizadas com diferentes agentes carreadores. Não houve diferença significativa entre as amostras produzidas com o mesmo agente carreador, ao longo dos 90 dias de armazenamento, indicando que todos os materiais conferiram boa estabilidade aos fenólicos presentes na polpa de morango. As amostras produzidas com diferentes agentes carreadores, por sua vez, apresentaram diferença significativa entre si, em todos os tempos de armazenamento avaliados.

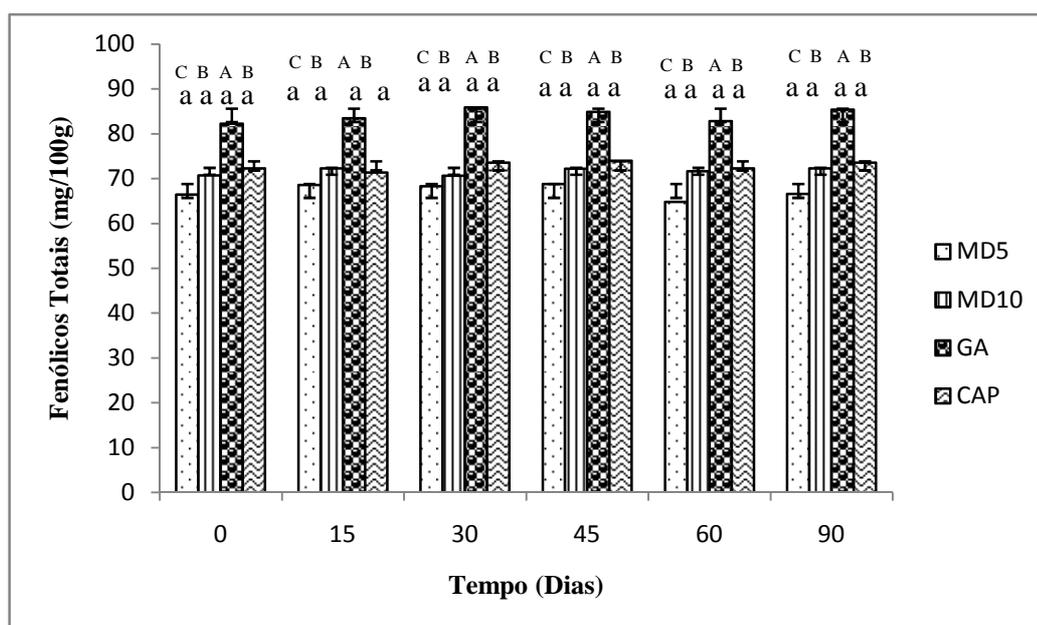


Figura 4.3. Evolução do teor de fenólicos totais para amostras de morango em pó com os diferentes agentes carreadores ao longo do armazenamento a 25°C.

(MD5 = Maltodextrina 5DE; MD10 = Maltodextrina 10DE; GA = Goma Arábica; CAP = Amido Modificado, Capsul®).

*Letras minúsculas indicam comparação para o mesmo agente carreador nos diferentes dias.

*Letras maiúsculas indicam comparação dos diferentes materiais para o mesmo dia.

Do mesmo modo que o observado para as antocianinas, as partículas produzidas com goma arábica apresentaram o maior teor de fenólicos totais após o processo de secagem, seguidas pelas amostras produzidas com maltodextrina 10DE e Capsul®. As partículas produzidas com maltodextrina 5DE apresentaram o menor valor.

Tonon et al. (2009c) também observaram que a goma arábica foi o melhor agente carreador para reter fenólicos totais no suco de açaí atomizado, quando comparado às maltodextrinas 10DE e 20DE e à fécula de mandioca.

4.2.5.3 Atividade Antioxidante

Na Figura 4.4 observa-se a atividade antioxidante durante o armazenamento das amostras atomizadas com diferentes agentes carreadores. Da mesma forma que o observado para as antocianinas e os compostos fenólicos, não houve diferença significativa estatística entre a atividade antioxidante das amostras produzidas com o mesmo agente carreador, ao longo dos 90 dias de armazenamento. As amostras produzidas com diferentes agentes carreadores, por sua vez, apresentaram diferença significativa entre si, em todos os tempos de armazenamento avaliados.

As partículas produzidas com goma arábica apresentaram o maior valor de atividade antioxidante após o processo de secagem, seguidas pela amostra produzida com maltodextrina 10DE e pela amostra produzida com maltodextrina 5DE. As partículas produzidas com Capsul[®] apresentaram o menor valor.

O nível de preservação da atividade antioxidante seguiu uma tendência semelhante aos teores de antocianinas e fenólicos, indicando que estes compostos são os principais responsáveis pela atividade antioxidante observada na polpa de morango. Pagani (2010) também observou que a goma arábica foi o melhor agente, preservando melhor as substâncias antioxidantes inicialmente e durante o período de 90 dias de armazenamento. Assim como Silva et al. (2010) em pigmentos extraídos de casca de jabuticaba microencapsulados com maltodextrina e goma arábica.

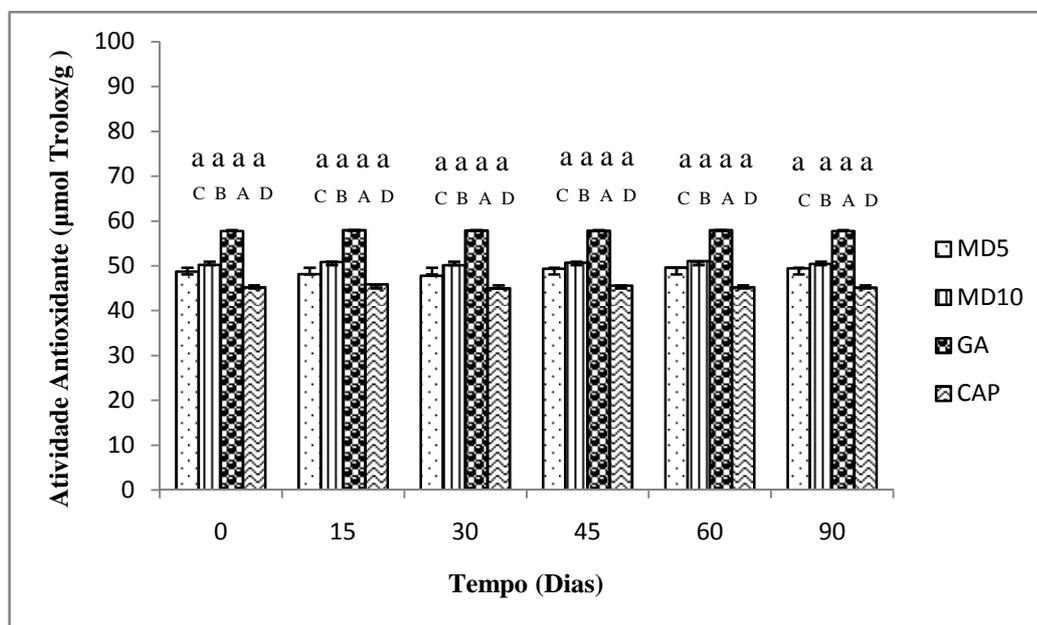


Figura 4.4. Evolução do teor de atividade antioxidante (TEAC) para amostras de morango em pó com os diferentes agentes carreadores ao longo do armazenamento a 25°C. (MD5 = Maltodextrina 5DE; MD10 = Maltodextrina 10DE; GA = Goma Arábica; CAP = Amido Modificado, Capsul[®]).

*Letras minúsculas indicam comparação para o mesmo agente carreador nos diferentes dias.

*Letras maiúsculas indicam comparação dos diferentes materiais para o mesmo dia.

4.2.6 Morfologia

Nas Figuras de 4.5 a 4.8 estão apresentadas as micrografias das amostras obtidas. Observa-se nas Figuras 4.5 e 4.6, polpa de morango atomizada com maltodextrinas 5 e 10 DE, respectivamente, microcápsulas com superfícies mais lisas. A Figura 4.8, polpa de morango atomizada com amido modificado, Capsul[®] apresentou o maior número de partículas com aparência enrugada e murcha. As partículas enrugadas apresentam maior área de superfície, o que implica em maior contato com o ar ambiente, o que pode ser uma das causas da maior higroscopicidade apresentada por essa amostra. Todas as amostras apresentaram elevado grau de aglomeração entre as partículas, o que pode se explicado pelo tempo entre o processo de desidratação e a avaliação por microscopia eletrônica de varredura (MEV).

Nenhuma das amostras avaliadas apresentou partículas fragmentadas, poros ou rachaduras na superfície externa, independente do agente carreador utilizado, o que é importante para garantir a proteção e estabilidade do material ativo. Esta ausência de defeitos é função do ajuste adequado da temperatura utilizada durante o processo de atomização.

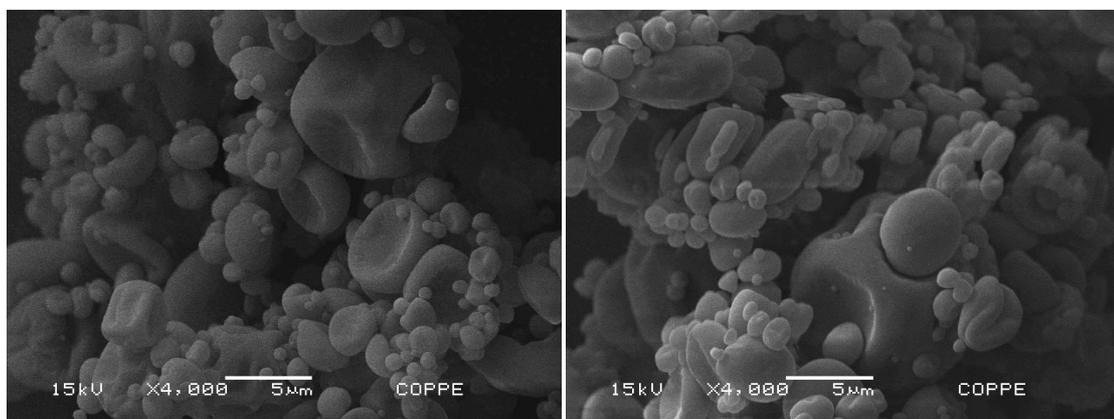


Figura 4.5. Micrografias da polpa de morango atomizada com o agente carreador: maltodextrina de 5DE, obtida por microscopia eletrônica de varredura, aumento de 4000x.

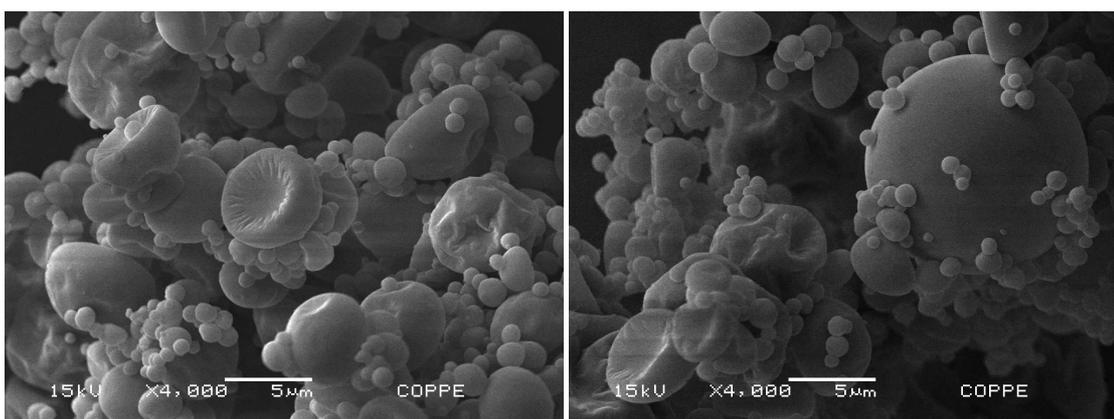


Figura 4.6. Micrografias da polpa de morango atomizada com o agente carreador: maltodextrina de 10DE, obtida por microscopia eletrônica de varredura, aumento de 4000x.

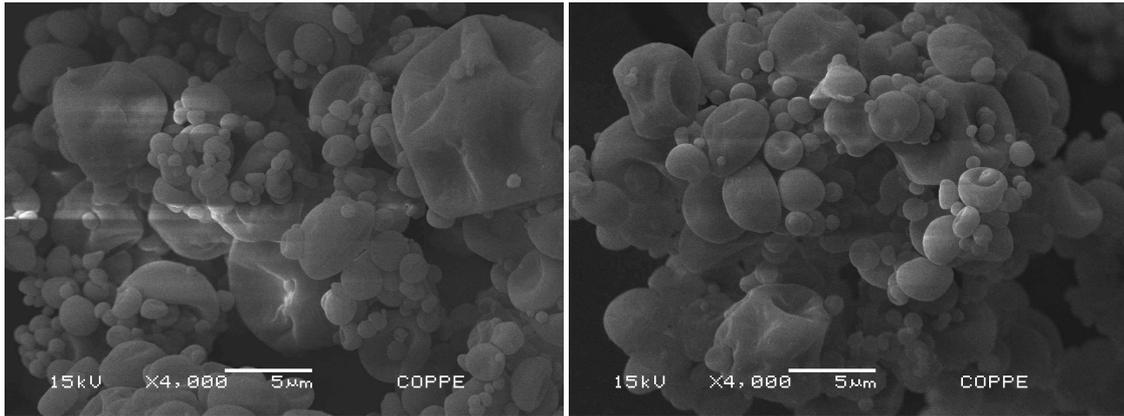


Figura 4.7. Micrografias da polpa de morango atomizada com o agente carreador: goma arábica, obtida por microscopia eletrônica de varredura, aumento de 4000x.

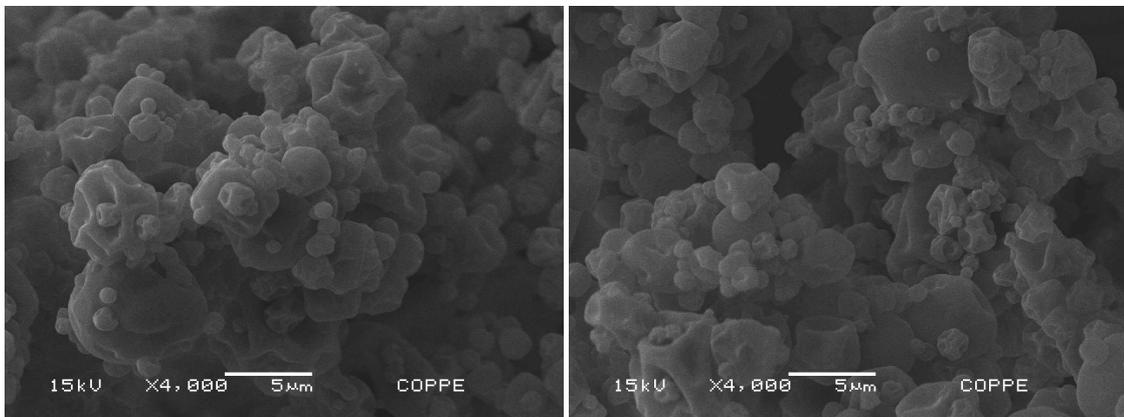


Figura 4.8. Micrografias da polpa de morango atomizada com o agente carreador: Capsul[®], obtida por microscopia eletrônica de varredura, aumento de 4000x.

4.2.7 Cromatografia gasosa

Na amostra de polpa de morango *in natura* foram encontrados 83 substâncias, no entanto só foi possível identificar 55 compostos.

Os compostos aromáticos identificados por cromatografia gasosa (CG-MS) da polpa de morango, os índices de retenção calculados, o tipo de identificação realizado, a descrição sensorial destes compostos, assim como o grupo de referências utilizado podem ser observados na Tabela 4.8.

Segundo Schipilliti et al. (2011), os ésteres são os responsáveis pelo aroma frutal, aldeídos pelas notas frescas e verdes e as lactonas contribuem essencialmente com as características e distintivas notas de cada fruta.

O aroma de morango é um dos mais estudados na literatura, portanto utilizou um grupo de 11 referências para comparar quais substâncias normalmente eram as mais encontradas. Este grupo foi composto por: Berna et al. (2007); Christensen et al. (2009); Dong et al. (2013); Du et al. (2011); Martuscelli et al. (2008); Olbricht et al. (2011); Schipilliti et al. (2011); Ulrich et al. (1997); Vandendriessche et al. (2012); Verhoeven et al. (1997); Yun-tao et al. (2009)

Tabela 4.8. Compostos aromáticos identificados por CG-MS na polpa de morango *in natura* (continua).

Picos	Substâncias Aromáticas na Polpa <i>in natura</i>	IR	ID	Descrição Sensorial ^a	Referências ^b										
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Butanoato de metila ^c	722	A	Éter, frutal, doce	X	X	X	X	X	-	X	X	X	-	X
2	3-Metil-2-buten-1-ol	766	A	Erva	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	n-Hexanal	801	A	Capim, seboso, gorduroso	-	-	-	X	X	X	X	-	-	-	X
4	Butanoato de etila ^c	804	A	Maçã	X	X	X	-	X	X	-	X	X	X	X
5	Acetato de butila	818	A	Pêra	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	X
6	Butanoato de isopropila	847	A	Pungente, frutal	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	2-E-Hexenal	856	A	Verde, folha	X	X	-	X	X	-	X	-	-	-	X
8	2 Hexen-1-ol	872	A	Verde, folha, noz	-	-	-	-	-	-	X	-	-	X	X
9	Hexanol	874	A	Resina, floral, verde	-	-	-	-	X	-	-	-	-	X	-
10	Styrene	890	B	Balsâmico, gasolina	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	Heptanal	902	A	Gorduroso, cítrico, rançoso	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-
12	Hexanoato de metila ^c	929	A	Frutal, fresco, doce	X	X	X	X	X	-	X	X	X	-	X
13	alfa-pinene	934	A	Pinheiro, turpentine	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	benzaldeido	962	A	Amendoa, açúcar queimado	-	-	-	-	X	-	-	-	X	-	-
15	sabinene	970	A	Pimenta, turpentine, madeira	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	beta-pinene	976	A	Pinheiro, resina, turpentine	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	mircene	992	A	Balsamico, mosto, especiarias	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	Butanoato de butila	998	A	-	X	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-
19	Hexanoato de etila ^c	1002	A	Casca de maçã, frutal	X	X	X	-	X	X	-	X	X	X	X
20	Acetato de hexila	1018	A	Limão	X	-	X	X	-	-	X	X	X	X	X
21	2-E-Acetato de hexenila	1022	A	Verde, banana	-	-	-	X	-	-	X	-	X	-	X
22	para-cimene	1026	A	Solvente, gasolina, cítrico	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23	limoneno	1032	A	Limão, laranja	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-
24	trans-beta-ocimene	1052	A	Doce, erva	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	γ -Terpinene	1061	A	Gasolina, turpentine	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabela 4.8. (Continuação)

26	2,5-dimetil-4-metoxi-3(2H)-furanone (Mesifurane- DMMF) ^c	1064	B	Caramelo, doce, mofo	-	X	X	X	X	-	X	-	-	-	X
27	n-Octanol	1076	A	Químico, metal, queimado	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-
28	Z-Óxido-linalol	1089	A	Floral	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-
29	n-Nonanone	1093	A	Leite quente, sabão, green	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-
30	Linalol ^c	1102	A	Floral, lavanda	X	X	-	X	-	-	X	-	X	-	X
31	Nonanal	1105	A	Gorduroso, cítrico, verde	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-
32	Octanoato de metila	1128	A	Laranja	-	-	X	-	X	-	-	X	-	-	X
33	2-E-nonenal	1162	A	Pepino, gorduroso, verde	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
34	Acetato de benzila	1167	A	Fresco, vegetal cozido	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-
35	Nonanol	1175	A	Gorduroso, verde	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
36	Ácido octanoico	1185	A	Suor, queijo	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	X
37	α -terpineol	1190	A	Óleo, anis, menta	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
38	n-Butanoato de hexila	1194	A	Casca de maçã	X	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-
39	Butanoato de hexenila	1196	A	Vinho, verde	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40	Octanoato de etila	1199	A	Frutal, gorduroso	-	-	X	-	X	-	-	X	-	-	-
41	n-Decanal	1206	A	Sabão, casca de laranja, seboso	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-
42	Acetato de octila	1214	A	Frutal	-	-	X	X	X	-	X	X	-	-	-
43	Geraniol	1258	A	Rosa	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X
44	2-Undecanone	1294	A	Laranja, fresco, verde	-	-	-	-	X	-	-	-	X	-	-
45	Cinamato de metila	1383	A	Morango	-	-	-	-	-	X	-	-	-	X	-
46	Decanoato de etila	1399	A	Uva	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-
47	Tetradecane	1399	A	Alcano	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
48	Acetato de decila	1412	A	Laranja, óleo	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-
49	β -E-farnesene	1459	A	Cítrico, verde	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
50	Cinamato de etila	1467	A	Floral	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
51	γ -Decalactone ^c	1471	A	Pêssego, gorduroso	X	X	-	-	-	X	X	-	X	X	X

Tabela 4.8. (Conclusão).

52	β -E-Ionone	1487	A	Alga, violeta, floral, framboesa	-	X	-	-	-	X	-	-	-	-
53	α -Murolene	1500	A	Madeira	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
54	α -Farnesene	1509	A	Madeira, doce	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
55	Nerolidol	1568	A	Cera	-	-	-	X	-	-	-	-	X	X

a: Fonte: site do flavornet (<http://www.flavornet.org/>). b: 1 – Schipilliti et al., 2011; 2 – Ulrich et al., 1997; 3 – Yun-tao et al., 2009; 4 – Berna et al., 2007; 5 – Vandendriessche et al., 2012; 6 – Martuscelli et al., 2008; 7 – Verhoeven et al., 1997; 8 – Dong et al., 2013; 9- Olbricht et al., 2011; 10 – Christensen et al., 2009; 11- Du et al., 2011. c: compostos importantes segundo Ulrich et al., 1997.

IR - Índice de Retenção;

ID - Identificação: (A) comparação com espectro de massas da biblioteca e com índice de retenção calculado e referência (ADAMS, 2001); (B) comparação com o espectro de massas por referência (NIST) – identificação por tentativa; ni – Não identificado.

Verificou-se que as substâncias aromáticas mais encontradas na polpa de morango por este grupo foram: n-Hexanal, 2-E-Hexenal, 2 Hexen-1-ol, Acetato de hexila, 2-E-Acetato de hexenila, Octanoato de metila, Octanoato de etila, Acetato de octila, Nerolidol, γ -Decalactone, Linalol, Mesifurane- DMMF, Hexanoato de etila, Hexanoato de metila, Butanoato de metila, Butanoato de etila.

De todas as 11 referências, apenas Ulrich et al. (1997) afirmou que o aroma de morango tem doze substâncias importantes, destes o presente trabalho encontrou 7: butanoato de metila, butanoato de etila, hexanoato de metila, hexanoato de etila, 2,5-dimetil-4-metoxi-3(2H)-furanone (mesifurane- DMMF), linalol e γ -decalactone.

Na Tabela 4.9 podem ser observados os compostos aromáticos semi-quantificados e identificados por cromatografia gasosa das amostras de polpa de morango atomizadas com maltodextrinas de 5DE e 10DE, goma arábica e amido modificado, Capsul[®], no primeiro dia e após 90 dias de armazenamento em dessecador, mantidos a temperatura ambiente ao abrigo da luz através de sacos plásticos laminados. Percebe-se então que, o agente carreador que mais protegeu os compostos aromáticos foi a goma arábica, devido à maior retenção de compostos no produto atomizado, em relação à polpa *in natura*.

Para a extração de substâncias voláteis em aroma de frutas, normalmente se utiliza a técnica de SPME, assim como estes utilizaram para o aroma de morango (Dong et al., 2013; Martuscelli et al., 2008; Schipilliti et al., 2011; Vandendriessche et al., 2012; Yun-tao et al., 2009), mas esta é imprecisa em utilizar quantificação por padrões, portanto apenas é realizada uma semi-quantificação, através da injeção no FID, que permite obter a % da área de cada substância volátil encontrada na solução em suspensão da amostra, no momento da extração.

Tabela 4.9. Compostos aromáticos identificados por CG-MS na polpa de morango atomizada, no 1° e no 90° dias (Continua).

Picos polpa	Picos pós	Substâncias aromáticas do morango	IR	ID	% Área								
					Polpa	Atomizados no dia 1				Atomizados no dia 90			
						MD5	MD10	GA	CAP	MD5	MD10	GA	CAP
1	1	2 Propanona	-	B	3,043	5,432	5,295	1,637	2,483	5,964	2,461	1,795	3,222
2	2	Pentanal	708	A	1,102	-	-	1,289	-	-	-	1,347	1,727
3	-	Butanoato de metila	-	A	1,273	-	-	-	-	-	-	-	-
4	3	Hexanal	806	A	1,488	19,510	4,291	8,123	5,103	3,854	5,606	8,139	7,816
5	-	Butanoato de etila	-	A	0,960	-	-	-	-	-	-	-	-
6	4	Butanoato de Isopropila	841	A	0,599	-	-	2,685	-	-	-	3,110	-
7	5	Hexenal (2E)	859	A	0,718	24,114	5,284	5,916	6,277	5,108	7,253	5,988	10,488
8	6	Hexenol (2E)	876	A	3,136	10,596	1,342	1,661	1,691	1,806	2,309	1,834	3,597
-	7	Heptanal	905	A	-	-	-	1,230	-	-	-	-	-
9	-	Hexanoato de metila	-	A	0,824	-	-	-	-	-	-	-	-
-	8	α -Pinene	937	A	-	-	0,883	-	0,810	0,925	-	-	-
10	9	Benzaldeido	963	A	0,507	-	-	1,697	-	-	-	1,998	-
11	10	β -Pinene	978	A	2,315	-	1,453	0,996	1,446	1,539	1,253	1,129	1,120
12	11	Mircene	991	A	2,986	-	3,507	5,909	3,144	3,425	3,289	7,096	2,919
13	12	Caproato de etila	1005	A	2,525	3,692	1,385	3,004	1,365	1,523	1,606	2,915	1,972
14	13	2-E-Acetato de Hexenila	1019	A	0,397	-	0,488	0,558	0,455	0,473	-	0,919	-
15	14	Limoneno	1032	A	47,265	2,456	65,609	26,544	61,591	61,782	52,963	34,317	38,100
16	15	γ -Terpineno	1062	A	1,943	-	3,024	3,410	3,183	3,205	3,678	3,742	2,774
-	16	Mesifurano (DMMF)	1066	B	-	2,243	-	-	-	-	-	-	-
17	17	n-octanol	1077	A	0,583	-	-	0,969	-	-	-	0,548	0,851
-	18	Z-Óxido-linalol	1086	A	-	-	1,648	3,696	1,535	1,509	1,879	3,180	1,680
18	19	2-Nonanone	1094	A	0,194	-	-	0,820	-	-	-	0,753	-
19	20	Linalool	1101	A	2,037	4,378	1,273	2,412	1,072	1,418	2,309	2,274	4,059

Tabela 4.9. (Conclusão)

-	21	Nonanal	1106	A	-	3,508	0,867	1,745	0,486	0,882	0,969	1,186	-
-	22	3-metil, decane	1118	A	-	-	-	0,688	-	-	1,450	0,569	0,979
-	23	Octanoato de metila	1122	A	-	-	-	0,867	-	-	-	-	-
20	24	2-E-Nonenal	1160	A	0,158	-	-	0,926	-	-	-	-	-
21	25	2-Decanone	1194	A	0,308	-	-	0,714	-	-	-	-	-
22	26	Octanoato de etila	1199	A	0,155	-	-	0,897	-	-	-	0,541	-
23	27	Decanal	1206	A	0,127	-	-	2,890	-	-	-	1,941	-
-	28	Acetato de octila	1214	A	-	-	-	-	-	0,276	-	0,343	-
24	-	Geraniol	-	A	0,159	-	-	-	-	-	-	-	-
25	-	2-Undecanone	-	A	0,519	-	-	-	-	-	-	-	-
26	-	Cinamato de metila	-	A	0,656	-	-	-	-	-	-	-	-
27	29	Butanoato de octila	1390	A	0,617	-	-	0,897	-	-	-	0,575	-
28	-	Decanoato de etila	-	A	0,374	-	-	-	-	-	-	-	-
29	-	Tetradecane	-	A	0,252	-	-	-	-	-	-	-	-
30	-	Acetato de decila	-	A	0,116	-	-	-	-	-	-	-	-
31	30	2,5 Xilenol	1454	B	0,186	-	-	1,110	-	-	-	-	-
-	31	β -Farnesene (E)	1466	A	-	1,337	0,402	0,653	-	0,480	0,649	0,687	-
32	32	γ -Decalactone	1469	A	2,143	-	-	0,643	-	-	0,473	-	-
33	33	Nerolidol	1565	A	0,193	3,511	1,191	1,778	0,789	1,014	1,423	1,627	1,448

(MD5 = Maltodextrina 5DE; MD10 = Maltodextrina 10DE; GA = Goma Arábica; CAP = Amido Modificado, Capsul[®]).

IR - Índice de Retenção (referentes apenas as amostras atomizadas);

ID - Identificação: (A) comparação com espectro de massas da biblioteca e com índice de retenção calculado e referência (ADAMS, 2001);
 (B) comparação com o espectro de massas por referência (NIST)– identificação por tentativa;
 ni – Não identificado.

Na Tabela 4.9 pode-se também comparar a área da polpa de morango *in natura* com as áreas obtidas dos pós de morango. No entanto, é uma análise semi-quantitativa, e percebe-se apenas as substâncias que conseguiram volatilizar durante a extração dos voláteis e o conjunto afeta cada substância individualmente porque a pressão da solução em equilíbrio não varia, logo a amostra pode até conter os mesmos voláteis, mas se um tende a se pronunciar mais o outro tem a sua fração molar diminuída para manter o equilíbrio da solução ideal.

Segundo Schieberle e Hofmann (1997), 15 a 20 compostos são essenciais para o aroma de morango entre eles 3-hexenal, butanoato de metila, butanoato de etila, etil 2-metilpropanoato, diacetil e 4-hidroxi- 2,5-dimetil-3(2H)-furanone (HDMF, Furaneol). Sendo este último o mais importante, por estar normalmente presente em alta concentração na fruta. Lunkenbein et al. (2006) estudaram a transformação deste composto no 2,5-dimetil-4-metoxi-3(2H)-furanone (DMMF) por uma enzima, durante o processo de amadurecimento. Portanto o presente trabalho só apresentou (DMMF) pelo fato da utilização de morangos maduros, onde havia muito pouco (HDMF), o que não propiciou a identificação deste composto.

Apenas alguns autores relataram ter encontrado os dois compostos (DU et al., 2011; ULRICH et al., 1997; VANDENDRIESSCHE et al., 2012; VERHOEVEN et al., 1997). Nos trabalhos com morangos menos maduros apenas o HDMF é encontrado (CHRISTENSEN et al., 2009; MARTUSCELLI et al., 2008) e nos trabalhos com os frutos mais maduros apenas somente o DMMF é determinado (BERNA et al., 2007; YUN-TAO et al., 2009), como verificado no presente trabalho.

Nas Figuras 4.9 e 4.10 pode-se observar os cromatogramas de todos os atomizados comparados com a polpa *in natura* imediatamente após o processo de secagem e após 90 dias de armazenamento, respectivamente. Os atomizados obtidos com a goma arábica, apresentaram os cromatogramas com mais picos e mais intensos no 1° e no 90° dia, similares ao da polpa e os atomizados com maltodextrina 5DE apresentaram cromatogramas com picos menos intensos.

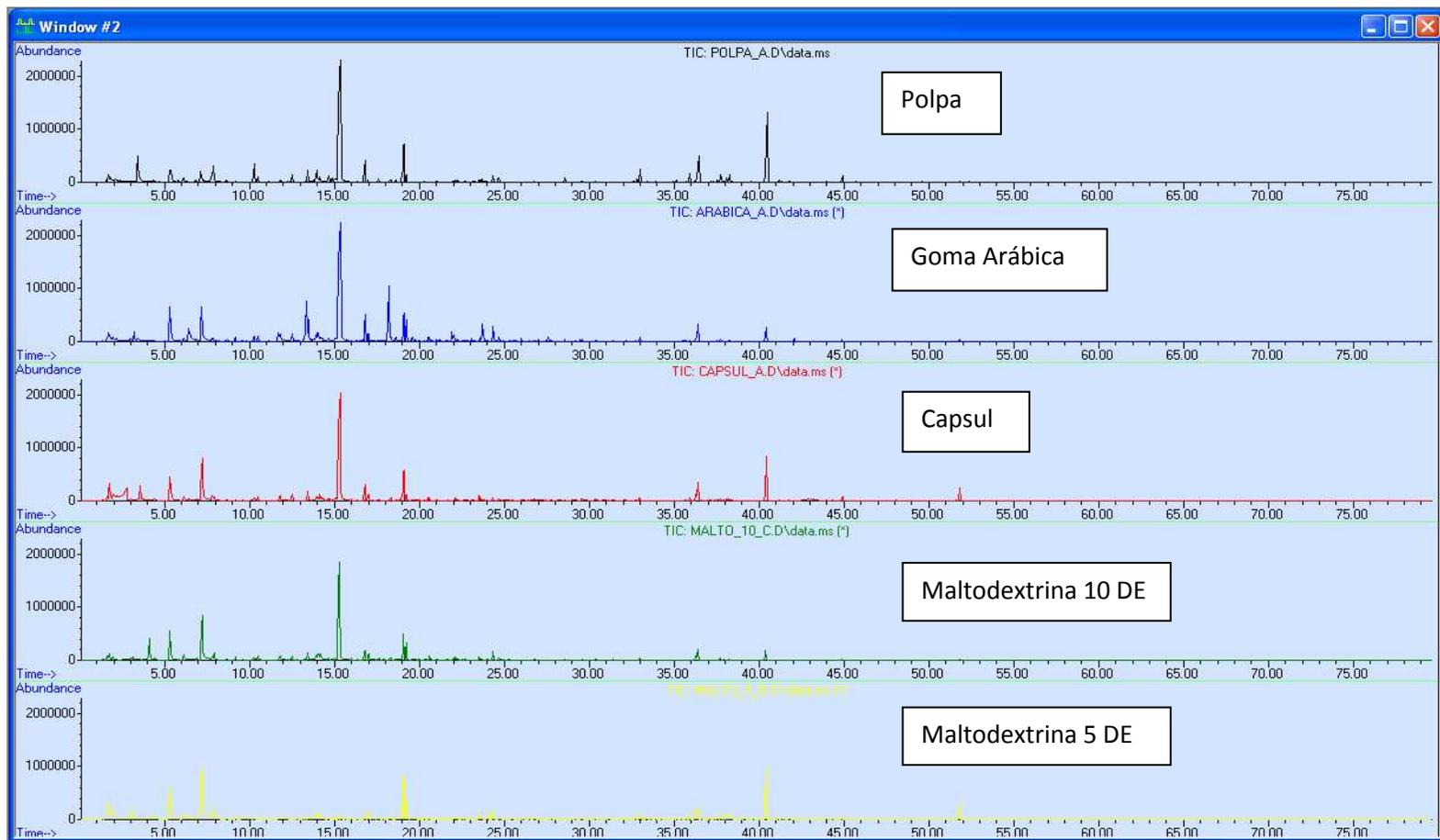


Figura 4.9. Comparação dos cromatogramas de polpa *in natura* com os atomizados, no início do armazenamento.

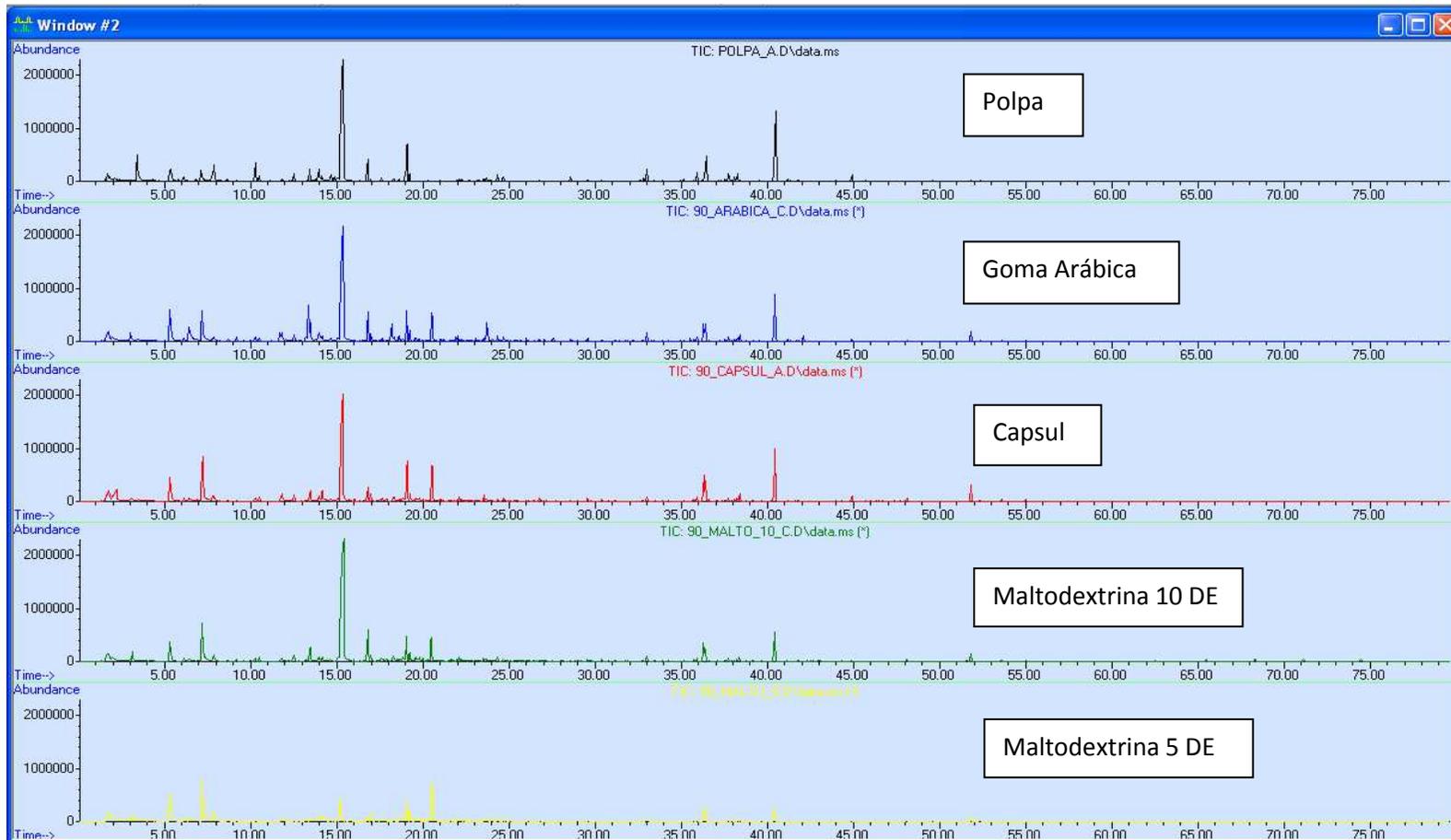


Figura 4.10. Comparação dos cromatogramas de polpa *in natura* com os atomizados, após 90 dias de armazenamento.

Segundo a Lei de Raoult, em soluções ideais, a pressão parcial de cada componente é dependente da sua pressão de vapor e de sua fração molar. A pressão da solução em equilíbrio não varia, portanto se uma substância tem a sua fração molar diminuída, outra tende a aumentar a sua fração molar. Fato que explica o porque de algumas substâncias que não obtiveram sua área semi-quantificada no 1º dia conseguiram sua semi-quantificação no 90º dia. A substância já existia inicialmente mas em uma quantidade menor do que a mínima necessária para ser semi-quantificada, pelos parâmetros de integração utilizados, e após 90 dias a diminuição de outro aroma ou até mesmo a perda deste, devido ao tempo de armazenamento, ocasionou a diminuição da sua fração molar portanto para manter o equilíbrio da solução, outra substância aparece devido ao aumento da sua fração molar. O que pode ser comprovado observando a Figura 4.11, onde os espectros do primeiro e do nonagésimo dia parecem ser muito semelhantes, contendo praticamente os mesmos compostos voláteis, variando apenas a intensidade.

Os compostos voláteis mais importantes que foram perdidos durante o processo de atomização, ou estão em pequenas quantidades não conseguindo ter suas áreas detectadas pelos parâmetros de integração utilizados foram: butanoato de metila, butanoato de etila, hexanoato de metila. E o γ -decalactone, que foi observado pela amostra de atomizado com goma arábica, analisado no primeiro dia, mas não no nonagésimo.

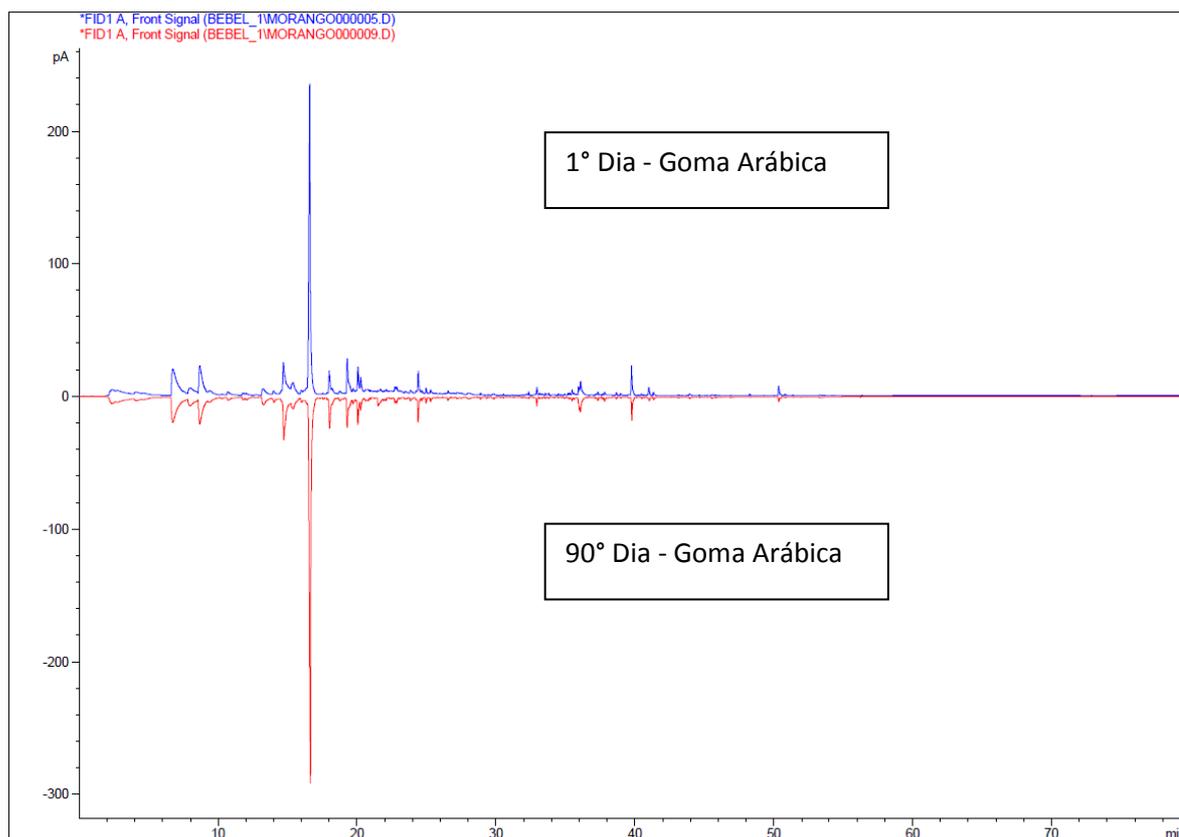


Figura 4.11. Comparação dos cromatogramas de polpa atomizada com o agente carreador: goma arábica no 1º dia e no 90º dia de armazenamento.

5 CONCLUSÕES

Foi possível obter polpa de morango atomizada com os quatro agentes carreadores avaliados: Maltodextrina 5DE, Goma arábica, Maltodextrina 10DE e Capsul[®].

O agente carreador utilizado que resultou no maior rendimento foi o amido modificado, Capsul[®].

Em relação às propriedades físicas, todas as amostras apresentaram solubilidade elevada, desejável para sucos de frutas em pó. A utilização de quatro diferentes agentes carreadores resultou em pós com diferentes valores de densidade e umidade. Os pós produzidos com a Maltodextrina 5DE e Goma arábica apresentaram menor higroscopicidade. Não foram observadas diferenças na estrutura morfológica das microcápsulas obtidas com diferentes agentes carreadores.

As curvas obtidas pelas isotermas de sorção apresentaram bom ajuste aos modelos experimentais testados, principalmente por GAB, e foram descritas pelo formato tipo III.

Com relação às propriedades químicas, a polpa de morango desidratada com goma arábica apresentou o maior teor de compostos fenólicos e antocianinas e, conseqüentemente, maior valor de atividade antioxidante, tanto imediatamente após a secagem como ao longo do armazenamento.

Avaliando a retenção dos compostos voláteis conclui-se também que o melhor agente carreador foi a goma arábica, porque esta amostra apresentou maior número de compostos semi-quantificados e identificados característicos do morango.

Dessa forma, do ponto de vista tecnológico, com base nos resultados obtidos no presente trabalho, a goma arábica pode ser indicada como o agente carreador mais adequado para a produção de polpa de morango em pó. No entanto, estudos adicionais devem ser feitos a fim de se avaliar a viabilidade econômica do uso deste material.

5.1 Recomendações de Pesquisa

Avaliar diferentes condições de temperaturas de entrada e saída do ar de secagem na atomização visando melhorar a retenção dos voláteis e compostos fenólicos, bem como, a capacidade antioxidante do pó antes e durante o armazenamento.

Testar combinações e proporções de materiais carreadores visando menor custo e a obtenção de um produto com características mais próximas da fruta *in natura*.

Avaliar a viabilidade de aplicação da polpa de morango em pó na formulação de produtos alimentícios, tais como iogurtes, bebidas e biscoitos.

Comparar a utilização de diferentes métodos de secagem, tais como atomização e liofilização.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMS, R. P. **Identification of essential oil by gás chromatography/quadrupole mass spectroscopy**. Carol Stream, Illinois, USA, 2001.
- ALCÂNTARA, S. R.; ALMEIDA, F. A. C.; SILVA, F. L. H.; GOMES, J. P. Isotermas de adsorção do pedúnculo seco do caju. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, n.1, p.81–87, 2009.
- ALEXANDRE, H. V.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. e QUEIROZ, A. J. M. Isotermas de adsorção de umidade da pitanga em pó. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Campina Grande, v.7, n.1, p.11-20, jan.-jul. 2007.
- ALMEIDA, F. D. L. **Desidratação de suco de abacaxi probiótico por *spray-dryer***. Fortaleza, 2012. 71 f. Dissertação. (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Ceará. 2012.
- ANSELMO, G. C. S.; MATA, M. E. R. M. C; ARRUDA, P. C.; SOUSA, M. C. Determinação da higroscopicidade do cajá em pó por meio da secagem por atomização. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Campina Grande, v. 6, n. 2, ago.-dez. 2006.
- AUGUSTA, I. M. **Extração e secagem da casca de jambo vermelho (*Syzygium malaccensis*, (L.) Merrylet Perry) para obtenção de corante**. Rio de Janeiro, 2011. 137f. Tese (Doutorado em Ciências em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) - Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2011.
- AUGUSTO, F., VALENTE, A. L. P.; TADA, E. S.; RIVELLINO, S. R. Screening of Brazilian fruit aromas using solid-phase microextraction–gas chromatography–mass spectrometry. **Journal of Chromatography A**, v.873, p.117–127, 2000.
- AZEREDO, H. M. C. Encapsulação: aplicação à tecnologia de alimentos. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v.16, n.1, p.89-97, jan./mar. 2005.
- BARBOSA, S. J. **Qualidade de suco em pó de mistura de frutas obtido por spray drying**. Janaúba, 2010. 122f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal no semiárido) – Universidade Estadual de Montes Claros. 2010.
- BARRIONUEVO, W. R.; LANÇAS, F. M. Extração em fase sólida (SPE) e micro extração em fase sólida (SPME) de piretróides em água. **Química Nova**, v.24, n. 2, p.172-175, 2001.
- BARROS, F. A. R.; STRINGHETA, P. C. Microencapsulamento de antocianinas. **Biotecnologia, Ciência e Desenvolvimento**. n.36, jan./jun. 2006. Disponível em:<<http://www.biotecnologia.com.br/edicoes/ed36.php>>. Acesso em: 23 abril. 2013.
- BE MILLER, J. N.; WHISTLER, R. L. Carbohydrates. In: FENNEMA, O. R. **Food Chemistry**. New York, Marcel Dekker, p.157-224. 1996.
- BERNA, A. Z.; GEYSEN, S.; LI, S.; VERLINDEN, B. E.; LAMMERTYNA, J. NICOLAI, B. M. Headspace fingerprint mass spectrometry to characterize strawberry aroma at super-atmospheric oxygen conditions. **Postharvest Biology and Technology**. v.46 , p. 230–236. 2007.

- BERNARDI, J.; HOFFMANN, A.; ANTUNES, L. E. C.; FREIRE, J. M. Cultivares. Sistema de Produção de Morango para Mesa na Região da Serra Gaúcha e Encosta Superior do Nordeste. Embrapa Uva e Vinho. **Sistemas de Produção**, v.6, 2005. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Morango/MesaSerraGaucha/cultivares.htm>>. Acesso em: 27 fev. 2013.
- BEZERRA, J. R. M. V.; RIGO, M.; JUNIOR, B. D.; CÓRDOVA, K. R. V. Estudo do efeito da temperatura nas propriedades reológicas da polpa de morango (*Fragaria ananassa*). **Revista Ambientia**. Guarapuava, PR, v.5, n.1, p.37 - 47, Jan./Abr. 2009.
- BEZERRA, T. S. **Comportamento higroscópico de pós de diferentes variedades de manga (*Mangifera indica L.*)**. Fortaleza, 2009. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal do Ceará. 2009.
- BHANDARI, B. R.; DATA, N.; HOWES, T. Problems associated with spray drying of sugar-rich foods. **Drying Technology**, v.15, n.2, p.671-684, 1997.
- BHANDARI, B. R.; SENOUSI, A.; DUMOULIN, E. D.; LEBERT, A. Spray drying of concentrated fruit juices. **Drying Technology**, v.11, n.5, p.1081-1092, 1993.
- BOBBIO, P. A.; BOBBIO, F. O. **Introdução à química de alimentos**. 2 ed. São Paulo: Varela. 1995.
- BRANDELERO, R. P. H. ; VIEIRA, A. P.; TELIS, V. R. N.; TELIS-ROMERO, J.; YAMASHITA, F. Aplicação de revestimento comestível em abacaxis processados por métodos combinados: isoterma de sorção e cinética de desidratação osmótica. **Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.25, n. 2, p.285-290, abr.-jun. 2005.
- BRUNAUER, S.; EMMETT, P. H.; TELLER, E. Adsorption of gases in multimolecular layers. **Journal of the American Chemists' Society**, v.60, p.309-319, 1938.
- BURNS, J.; GARDNER, P. T.; MATTHEWS, D.; DUTHIE, G. G.; LEAN, M. E.; CROZIER, A. Extraction of phenolics and changes in antioxidant activity of red wines during vinification. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. v.49, n.12, p.5797-808. 2001
- CAI, Y. Z.; CORKE, H. Production and properties of spray-dried *Amaranthus betacyanin* pigments. **Journal of Food Science**, v.65, n.6, p.1248-1252, 2000.
- CANO-CHAUCA, M.; STRINGHETA, P. C.; RAMOS, A. M.; CAL-VIDAL, J. Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v.5, n.4, p.420-428, 2005.
- CANUTO, G. A. B. **Caracterização, quantificação e estudo da relação retenção-propriedade anti-oxidante (QRPR) de antocianinas em extratos de morango (*Fragaria vesca*) por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência**. São Paulo, 2011. 235f. Dissertação (Mestrado em Ciências Químicas) - Universidade de São Paulo. 2011.
- CARNEIRO, H. C. F.; TONON, R. V.; GROSSO, C. R. F.; HUBINGER, M. D. Encapsulation efficiency and oxidative stability of flaxseed oil microencapsulated by spray drying using different combinations of wall materials. **Journal of Food Engineering**, v.115, p.443-451, 2013.
- CEREZO, A. B.; CUEVAS, E.; WINTERHALTER, P.; GARCIA-PARRILLA, M. C.; TRONCOSO, A. M. Isolation, identification, and antioxidant activity of anthocyanin compounds in Camarosa strawberry. **Food Chemistry**. v.123, p.574-582. 2010.

- CHITARRA, M. I. F. e CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio**. Lavras: ESAL/FAEPE, 2005. 735p.
- CHRISTENSEN, N. J.; LEITÃO, S. M. T.; PETERSEN, M. A.; JESPERSEN, B. M.; ENGELSEN, S. B. A quantitative structure-property relationship study of the release of some esters and alcohols from barley and oat β -Glucan matrices. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 57, n. 11, 2009.
- CONTI, J. H.; MINAMI, K.; TAVARES, F. C. A. Produção e qualidade de frutos de morango em ensaios conduzidos em Atibaia e Piracicaba. **Revista Horticultura Brasileira**, Brasília, v.20, n.1, p.10-17, março 2002.
- CORDENUNSI, B. R.; GENOVESE, M. I.; NASCIMENTO, J. R. O.; HASSIMOTTO, N. M. A.; SANTOS, R. J.; LAJOLO, F. M. Effects of temperature on the chemical composition and antioxidant activity of three strawberry cultivars. **Food Chemistry**, Oxford, v.91, p.113-121, 2005.
- DESOBRY, S. A.; NETTO, F. M.; LABUZA, T. P. Comparison of spray-drying, drum drying and freeze-drying for β -carotene encapsulation and preservation. **Journal of Food Science**, v.62, n.6, p.1158-1162, 1997.
- DIB TAXI, C. M. A. **Suco de camu-camu (*Myrciariadubia*) microencapsulado obtido através de secagem por atomização**. Campinas, 2001. 166f. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas. 2001.
- DONG, J.; ZHANG, Y.; TANG, X.; JIN, W.; HAN., Z. Differences in volatile ester composition between *Fragaria* \times *ananassa* and *F. vesca* and implications for strawberry aroma patterns. **Scientia Horticulturae**. v.150, p.47–53. 2013.
- DÓREA, H. S.; GAUJAC, A.; NAVICKIENE, S. Microextração em fase sólida: aspectos termodinâmicos e cinéticos. **Scientia Plena**, v.4, n.7, 2008.
- DU, X.; PLOTTO, A.; BALDWIN, E.; ROUSEFF, R. Evaluation of volatiles from two subtropical strawberry cultivars using GC-Olfactometry, GC-MS odor activity values, and sensory analysis. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.59, p.12569–12577. 2011.
- DZIEZAK, J. D. Microencapsulation and encapsulated ingredients. **Food Technology**, v.42, n.4, p.136-151, 1988.
- EASTMAN, J. E.; MOORE, C. O. **Cold water soluble granular starch for gelled food composition**. U. S. Patent 4465702, 14 ago. 1984.
- ERSUS, S.; YURDAGEL, U. Microencapsulation of anthocyanin pigments of black carrot (*Daucuscarota* L.) by spray dryer. **Journal of Food Engineering**, v.80, n.3, p.805-812, 2007.
- FAVARO, M. M. A. **Extração, estabilidade e quantificação de antocianinas de frutas típicas brasileiras para aplicação industrial como corantes**. Campinas, 2008. 105f. Dissertação (Mestrado em Química Analítica) Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas. 2008.
- FELLOWS, P. **Tecnologia do Processamento de Alimentos**. 2 ed. Porto Alegre: Artmed. 2006. Cap. 15: Desidratação. p.323-352.
- FENNEMA, O. R.; DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L. **Química de Alimentos de Fennema**. 4 ed. Porto Alegre: Artmed. 2010.

- FERRARI, C. C., GERMER, S. P. M., ALVIM, I. D., VISSOTTO, F. Z. , DE AGUIRRE, J. M. Influence of carrier agents on the physicochemical properties of blackberry powder produced by spray drying. **International Journal of Food Science and Technology**, v.47, p.1237–1245, 2012b.
- FERRARI, C. C.; RIBEIRO, C. P. e AGUIRRE, J. M. Secagem por atomização de polpa de amora-preta usando maltodextrina como agente carreador. **Brazilian Journal of Food Technology**. Campinas, v.15, n.2, p.157-165, abr./jun. 2012a.
- FIGOLI, A.; TAGARELLI, A.; CAVALIERE, B.; VOICI, C.; SINDONA, G.; SIKDAR, S. K.; DRIOLI, E. Evaluation of pervaporation process of kiwifruit juice by SPME-GC/Ion Trap Mass Spectrometry. **Desalination**. v.250, p.1113–1117. 2010.
- FIGUEIRÊDO, R. M. F.; GRANDIN, A. e MARTUCCI, E. T. Armazenamento do suco de acerola microencapsulado. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.3, n.1, p.1-6, 2001.
- FILHO, W. P. C.; CAMARGO, F. P. Análise da produção de morango dos estados de São Paulo e Minas Gerais e do mercado da CEAGESP. **Informações Econômicas**, SP, v.39, n.5, maio 2009.
- FIORENTIN, L. D. MENON, B. T.; BARROS, S. T. D.; PEREIRA, N. C.; LIMA, O. C. M.; MODENES, A. N. Isotermas de sorção do resíduo agroindustrial bagaço de laranja. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p.653–659, 2010.
- FLAVORNET**. Disponível em:<<http://www.flavornet.org/flavornet.html>>. Acesso em: 07 jan. 2013.
- FORTES, M.; OKOS, M. R. Heat and mass transfer in hygroscopic capillary extruded products. In: Annual Meeting of the Aiche, 71, 1978, Miami. **Proceedings...** Miami: Aiche, 1978.
- FRANCO, C. M. L.; DAIÚTO, E. R.; DEMIATE, I. M.; CARVALHO, L. J. C. B.; LEONEL, M.; CEREDA, M. P.; VILPOUX, O. F.; SARMENTO, S. B. S. Produção e uso de amido. In: **Culturas de tuberosas amiláceas latino americanas**. São Paulo, Fundação Cargill, v.1, cap.2, p.21-56, 2002.
- FULEKI, T.; FRANCIS, F. J. Quantitative methods for anthocyanins 2. Determination of total anthocyanin and degradation index for cranberry juice, **Journal of Food Science** , v.33, p. 78-83, 1968.
- GALVANO, F.; LA FAUCI, L.; LAZZARINO, G.; FOGLIANO, V.; RITIENI, A.; CIAPPELLANO, S.; BATTISTINI, N. C.; TAVAZZI, B.; GALVANO, G. Cyanidins: metabolism and biological properties. **Journal of Nutritional Biochemistry**. v.15, n.1, p.2-11. 2004.
- GAVA, A. J.; SILVA, C. A. B.; FRIAS, J. R. G. **Tecnologia de Alimentos: Princípios e Aplicações**. Nobel, Edição revisada e atualizada. São Paulo, 2009. 511p.
- GIL, M. I.; HOLCROFT, D. M.; KADER, A. A. Changes in strawberry anthocyanins and other polyphenols in response to carbon dioxide treatments. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Columbus, v.45, p.1662-1667, 1997.
- GIUSTI, M. M. e WROLSTAD, R. E. Characterization and measurement of anthocyanins by UV-visible spectroscopy. In WROLSTAD, R. E. (Ed.). **Current Protocols in Food Analytical Chemistry**. New York: Wiley, 2001.

- GOMES, F. P. **Curso de estatística experimental**. 12. ed. São Paulo: ESALQ/USP, 1987. 467p.
- GOMES, P. M. A.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. e QUEIROZ, A. J. M. Caracterização e isothermas de adsorção de umidade da polpa de acerola em pó. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.4, n.2, p.157-165, 2002.
- GREENSPAN, L. Humidity fixed points of binary saturated aqueous solutions. **Journal of Research of the National Bureau of Standards – Physics and Chemistry**, v.81, n.1, p.89-96, 1977.
- GREGG, S. J.; SING, K. S. W. **Adsorption, Surface area and Porosity**. 2 ed. New York: Academic Press, 1967. 303p.
- GURJÃO, K. C. O. **Desenvolvimento, armazenamento e secagem de tamarindo (*Tamarindus indica L.*)**. Paraíba, 2006. 165 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal da Paraíba.
- HALSEY, G. Physical desorption on non-uniform surfaces. **Journal of Chemistry and Physics**, v.16, p.931-937. 1948.
- HENAO, J. D.; QUEIROZ, M. R.; HAJ-ISA, N. M. A. Umidade de equilíbrio de café cereja descascado baseada em métodos estático e dinâmico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.13, n.4, p.470–476, 2009.
- HENDERSON, S. M. A basic concept of equilibrium moisture. **Agricultural Engineering**, v.33, p.29-32. 1952.
- HOLZWARTH, M.; WITTIG, J.; CARLE, R.; KAMMERER, D. R. Influence of putative polyphenoloxidase (PPO) inhibitors on strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) PPO, anthocyanin and color stability of stored purées, **LWT – Journal Food Science and Technology**. 2012.
- HUANG, D.; OU, B.; PRIOR, R. L. The chemistry behind antioxidant capacity assays. **Journal of Agricultural and Food chemistry**, v.53, p.1841-1856, 2005.
- INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**, 4^a. ed., 1^a Edição Digital, São Paulo, 2008.
- JACKMAN, R. L.; SMITH, J. L. Anthocyanins and betalains. In: HENDRY, G. A. F.; HOUGHTON, J. D. (Eds.) **Natural Food Colorants**. 2nd ed. Londres: Chapman & Hall, p. 245- 309. 1996.
- JACKSON, L. S.; LEE, K. Microencapsulation and Food Industry. **LWT - Food Science and Technology**, London, v. 24, n. 4, p. 289-297, 1991.
- JIN, P.; WANG, S. Y.; WANG, C. Y.; ZHENG, Y. H. Effect of cultural system and storage temperature on antioxidant capacity and phenolic compounds in strawberries. **Food Chemistry**, v.124, n.1, p.262-270. 2011.
- JÚNIOR, J. M. C.; MENEZES, D.; MACIEL, M. I. S.; NETO, F. C. R.; COELHO, I. A. M.; CORREIA, L. C. S. A. Análise morfológica e físico-química de cultivares de morangueiro sob altas temperaturas. **Revista CIENTEC**. v.4, n.2, p.26-32, 2012.
- KING, A.; YOUNG, G. Characteristics and occurrence of phenolic phytochemicals. **Journal of the American Dietetic Association**, Chicago, v. 99, n. 2, p. 213-218, 1999.

- KLEWICKI, R.; KONOPACKA, D.; UCZCIWEK, M.; IRZYNIEC, Z.; PIASECKA, E.; BONAZZI, C. Sorption isotherms for osmo-convectively-dried and osmo-freezedried apple, sour cherry, and blackcurrant. **Journal of Horticultural Science & Biotechnology**, p.75-79, 2009.
- KROLOW, A. C.; SCHWENGBER, J.; FERRI, N. Avaliações físicas e químicas de morango cv. *Aromas* produzidos em sistema orgânico e convencional. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v.2, n.2. out., 2007.
- KUNTZ, L. A. **Making the most of Maltodextrins**. 1997. Disponível em: <<http://www.foodproductdesign.com/articles/1997/08/making-the-most-of-maltodextrins.aspx>> Acesso em: 14 jun. 2013.
- KUSKOSKI, E. M.; ASUERO, A. G.; GARCÍA-PARILLA, M. C., TRONCOSO, A. M.; FETT, R. Actividad antioxidante de pigmentos antocianicos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas. v.24, n.4, p.691-693. out.-dez., 2004.
- KUSKOSKI, E. M.; ASUERO, A. G.; MORALES, M. T.; FETT, R. Frutos tropicais silvestres e polpas de frutas congeladas: atividade antioxidante, polifenóis e antocianinas. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, n.4, p.1283-1287, jul.-ago., 2006.
- LABUZA, T. P. Moisture sorption: practical aspects of isotherm measurement and use. **St. Paul: American Association of Cereal Chemists**, 1984.
- LABUZA, T. P. Sorption phenomena in foods. **Food Technology**, v.22, n.3, p.263-272, 1968.
- LABUZA, T. P.; KAAANANE, A.; CHEN, J. Y. Effect of temperature on the moisture sorption isotherms and water activity shift of two dehydrated foods. **Journal of Food Science**, v.50, n.2, p.385-391, 1985.
- LANDIM, E. M. C. **Obtenção, caracterização e avaliação da estabilidade de pigmentos naturais microencapsulados**. Fortaleza, 2008. 90f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal do Ceará. 2008.
- LOMAURO, C. J.; BAKSHI, A. S.; LABUZA, T. P. Evaluation of food moisture sorption isotherm equations. Part I: Fruit, vegetable and meat products. **Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie**, v.18, n.2, p.111-117, 1985.
- LUNKENBEIN, S.; SALENTIJN, E. M. J.; COINER, H. A.; BOONE, M. J. KRENS, F. A.; SCHWAB, W. Up and down regulation of *Fragaria x ananassa* o-methyltransferase: impacts on furanone and phenylpropanoid metabolism. **Journal of Experimental Botany**, Vol. 57, No. 10, pp. 2445–2453, 2006.
- MADENE, A.; JACQUOT, M.; SCHER, J.; DESOBRY, S. Flavour encapsulation and controlled release – a review. **International Journal of Food Science and Technology**, v.41, p.1–21. 2006.
- MALACRIDA, C. R.; MOTTA, S. Antocianinas em suco de uva: Composição e Estabilidade. **Boletim do CEPPA**, v. 21, n. 1, p. 59 - 82, 2006.
- MALGARIM M. B.; CANTILLANO, R. F. F.; COUTINHO, E. F. Sistemas e condições de colheita e armazenamento na qualidade de Morangos cv. *Camarosa*. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal - SP, v.28, n.2, p.185-189, Ago., 2006.
- MANACH, C.; SCALBERT, A.; MORAND, C.; RÉMÉS, Y. C.; JIMÉNEZ, L. Polyphenols: food sources and bioavailability. **The american journal of clinical nutrition**. v.79, n.5, p.727-747. 2004.

- MARKAKIS, P. Stability of anthocyanins in foods. In: MARKAKIS, P. (Ed.) **Anthocyanins as Food Colors**. New York: Academic Press, p.163-180. 1982.
- MARTUSCELLI, M.; SAVARY, G.; PITTIA, P.; CAYOT, N. Vapour partition of aroma compounds in strawberry flavoured custard cream and effect of fat content. **Food Chemistry**. v.108, p.1200–1207. 2008.
- MATA, M. E. R. M. C.; MEDEIROS, S. S. A.; DUARTE, M. E. M. Microencapsulamento do umbu em pó com diferentes formulações de maltodextrina: estudo do tamanho das partículas por microscopia eletrônica. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.7, n.1, p.59-70, 2005.
- MOSQUERA, L. H.; MORAGA, G.; MARTÍNEZ-NAVARRETE, N. Critical water activity and critical water content of freeze-dried strawberry powder as affected by maltodextrin and arabic gum. **Food Research International**. v.47, p.201–206. 2012.
- MOURA, R. S. F.; GOUVEIA, J. P. G.; ALMEIDA, F. A. C.; SOUSA, A. G.; SILVA, M. M.; OLIVEIRA, A. M. V. Modelagem matemática para isoterma em polpa de caju. **Revista de Biologia e Ciência da Terra**. v.4, n.2, ago.-dez., 2004.
- MOURA, S. M. **Estabilidade de acerola em pó oriunda de cultivo orgânico**. Fortaleza, 2010. 115f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal do Ceará. 2010.
- NIST. National Institute of Standards and technology. Disponível em:<<http://webbook.nist.gov/chemistry/name-ser.html>>. Acesso em: 10 jan. 2013.
- OLBRICHT, K.; ULRICH, D.; WEISS, K. e GRAFE, C. Variation in the amounts of selected volatiles in a model population of *Fragaria × ananassa Duch.* as influenced by harvest year. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.59, n.3, p.944-952. 2011.
- OLIVEIRA, A. **Identificação de compostos voláteis presentes em uma essência natural de café obtida por pervaporação**. Rio de Janeiro, 2007. 88f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2007.
- OLIVEIRA, F. M. N.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Análise comparativa de polpas de pitanga integral, formulada e em pó. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.8, n.1, p.25-33, 2006.
- OLIVEIRA, M. A. **Avaliação da influência de adjuvantes de secagem sobre as propriedades de suco de caju atomizado**. Fortaleza, 2008. 63 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Ceará. 2008.
- OLIVEIRA, M. M.; CAMPOS, A. R. N.; DANTAS, J. P.; GOMES, J. P.; SILVA, F. L. H. Isotermas de dessecamento da casca do maracujá (*Passiflora edulis Sims*): determinação experimental e avaliação de modelos matemáticos. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, n.5, p.1624-1629, set-out, 2006.
- OLIVEIRA, M. M.; CAMPOS, A. R. N.; GOMES, J. P.; SILVA, F. L. H. Isotermas de secagem do resíduo agroindustrial de casca do abacaxi (*Ananas comosus L. Mer.*). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, n.4, p.565-569, 2005.
- OLIVEIRA, R. P.; NINO, A. F. P.; SCIVITTARO, W. B. Mudanças certificadas de morangueiro: maior produção e melhor qualidade da fruta. **A Lavoura**, Rio de Janeiro, v.108, n.655, 2005.

- OLIVEIRA, V. S.; AFONSO, M. R. A.; COSTA, J. M. C. Caracterização físico-química e comportamento higroscópico de sapoti liofilizado. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 2, p. 342-348, abr-jun, 2011.
- ORDOÑEZ PEREDA, J. A.; RODRÍGUEZ, M. I. C.; ÁLVAREZ, L. F.; SANZ, M. L. G.; MINGUILLÓN, G. D. G. F.; HOZ PERALES, L.; CORTECERO, M. D. S. **Tecnología de Alimentos, v.1: Componentes dos Alimentos e Processos**. Porto Alegre: Artmed, 2005.
- ORNELAS-PAZ, J. J.; YAHIA, E. M.; RAMIREZ-BUSTAMANTE, N.; PEREZ-MARTINEZ, J. D.; ESCALANTE-MINAKATA, M. P.; IBARRA-JUNQUERA, V.; ACOSTA-MUNIZ, C.; GUERRERO-PRIETO, V.; OCHOA-REYES, E. Physical attributes and chemical composition of organic strawberry fruit (*Fragaria x ananassa* Duch, Cv. *Albion*) at six stages of ripening. **Journal Food Chemistry**. v.138, p.372–381. 2013.
- PAGANI, M. M. **Obtenção de suco de acerola (*Malpighia emarginata* D.C.) concentrado e pós estáveis através da integração dos processos de separação por membranas e microencapsulação por atomização**. Rio de Janeiro, 2010. 183f. Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos) – Instituto de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- PAGLARINI, C. S.; SILVA, F.; PORTO, A. G.; PIASSON, D.; SANTOS, P. Histerese das isotermas de sorção da polpa de manga (*Mangifera indica* L.) variedade manteiga. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.3, p.299–305, 2013.
- PARAMITA, V.; FURUTA, T. E; YOSHII, H. High-Oil-Load Encapsulation of Medium-Chain Triglycerides and d-Limonene Mixture in Modified Starch by Spray Drying. **Journal of Food Science**, v. 77, n. 2. 2012.
- PARAMITA, V.; IIDA, K.; YOSHII, H.; FURUTA, T. Effect of additives on the morphology of spray-dryer powder. **Drying Technology**, v. 28, n.3, p.323-329, 2010.
- PELEG, M. Assessment of a semi empirical four parameter general model for sigmoid moisture sorption isotherms. **Journal of Food Processing Engineering**, v.16, n.1, p.21-37. 1993.
- PIETTA, P. G. flavonoids as antioxidants. **Journal of Natural Products**, v. 63, p. 1035-1042, 2000.
- PIMENTEL, C. V. M. B; FRANCKI, V. M.; GOLLÜCKE, A. P. B. **Alimentos funcionais: Introdução as principais substâncias bioativas em alimentos**. São Paulo: Editora Varela. 2005. 95f.
- PINTO, M. S. **Compostos bioativos de cultivares brasileiras de morango (*Fragaria x ananassa* Duch.): caracterização e estudo da biodisponibilidade dos derivados de ácido eláico**. São Paulo, 2008.138 f. Tese (Doutorado em Ciências dos Alimentos) – Universidade de São Paulo – Faculdade de Ciências Farmacêuticas. 2008.
- RÉ, M. I. Microencapsulation by spray drying. **Drying Technology**, v.16, n.6, p.1195- 1236, 1998.
- RE, R.; PELLEGRINI, N.; PROTEGGENTE, A.; PANNALA, A.; YANG, M.; RICE-EVANS, C. Antioxidant Activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. **Free Radical Biology & Medicine**, vol. 26, n. 9/10 p. 1231-1237, 1999.
- RESENDE, J. T. V; CAMARGO, L. K. P.; ARGANDOÑA, E. J. S.; MARCHESE, A.; CAMARGO, C. K. Sensory analysis and chemical characterization of strawberry fruits. **Revista Horticultura Brasileira**. v.26,p.371-374. 2008.

RIBEIRO, J. S.; AUGUSTO, F.; SALVA, T. J. G.; THOMAZIELLO, R. A.; FERREIRA, M. M. C. Prediction of sensory properties of Brazilian Arabica roasted coffees by headspace solid phase microextraction-gas chromatography and partial least squares. **Analytica Chimica Acta**. v.634, p.172–179. 2009.

RIGHETTO, A. M. **Caracterização físico-química e estabilidade de suco de acerola verde microencapsulado por atomização e liofilização**. Campinas, 2003. 178p. Tese (Doutorado em Ciência da Nutrição) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas. 2003.

ROCHA, D. A.; ABREU, C. M. P.; CORRÊA, A. D.; SANTOS, C. D.; FONSECA, E. W. N. Análise comparativa de nutrientes funcionais em morangos de diferentes cultivares da região de Lavras-MG. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal - SP, v.30, n.4, p.1124-1128, Dezembro 2008.

RUFINO, M. S. M; ALVES, R. E.; BRITO, E. S.; MORAIS, S. M.; SAMPAIO, C. G.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F. D. Metodologia Científica: Determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical ABTS⁺. **Comunicado Técnico (Embrapa Agroindústria Tropical)**, 2007.

SALWIN, H. Moisture levels required for stability in dehydrated foods. **Food Technology**, v.17, n.9, p.1114-1121, 1963.

SANHUEZA, R. M. V.; HOFFMANN, A.; ANTUNES, L. E. C.; FREIRE, J. M. Importância da cultura. Sistema de Produção de Morango para Mesa na Região da Serra Gaúcha e Encosta Superior do Nordeste. Embrapa Uva e Vinho. **Sistemas de Produção**, v.6, 2005. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Morango/MesaSerraGaucha/importancia.htm>>. Acesso em: 27 fev. 2013.

SCHIEBERLE, P; HOFMANN, T Evaluation of the Character Impact Odorants in Fresh Strawberry Juice by Quantitative Measurements and Sensory Studies on Model Mixtures. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.45, p.227-232. 1997.

SCHIPILLITI, L.; DUGO, P.; BONACCORSI, I. e MONDELLO, L. Headspace-solid phase microextraction coupled to gas chromatography–combustion-isotope ratio mass spectrometer and to enantio selective gas chromatography for strawberry flavoured food quality control. **Journal of Chromatography A**, v.1218, p.7481– 7486. 2011.

SEVERO, J. **Maturação e UVC na expressão transcricional de genes envolvidos nas rotas metabólicas de parede celular, compostos fenólicos e aromas em morango**. Pelotas, 2009. 97 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel. Universidade Federal de Pelotas. 2009.

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

SILVA, A. E.; SILVA, L. H. M.; PENA, R. S. Comportamento higroscópico do açaí e cupuaçu em pó. **Revista Ciência e Tecnologia dos Alimentos**, Campinas, v.28, n.4, p.895-901, out.-dez. 2008.

SILVA, F. A. S. The ASSISTAT software: statistical assistance. In: International Conference On Computers In Agriculture, 6., 1996, Cancun. **Anais...** Cancun: American Society of Agricultural Engineers, p. 294- 298. 1996.

SILVA, F. L.; ESCRIBANO-BAILÓN, M. T.; ALONSO, J. J. P.; RIVAS-GONZALO, J. C.; SANTOS-BUELGA, C. Anthocyanin pigments in strawberry. **LWT - Food Science and Technology**, v. 40, n. 2, p. 374 – 382, 2007.

SILVA, G. J. F.; CONSTANT, P. B. L.; FIGUEIREDO, R. W.; MOURA, S. M. Formulação e estabilidade de corantes de antocianinas extraídas das cascas de jaboticaba (*Myrciaria ssp.*). **Revista Alimentos e Nutrição**, Araraquara v.21, n.3, p.429-436, jul./set. 2010.

SILVA, I. Q.; OLIVEIRA, B. C. F.; LOPES, A. S.; PENA, R. S. Obtenção de barra de cereais adicionada do resíduo industrial de maracujá. **Revista Alimentos e Nutrição**, Araraquara v.20, n.2, p. 321-329, abr./jun. 2009.

SINGLETON, V. L.; ROSSI, J. A. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. **American Journal of Enology and Viticulture**, v.16, p.144-168, 1965.

SOUZA, A. P. **Comportamento higroscópico, avaliação física, físico-química e mineral do preparado sólido para refresco nos sabores manga, laranja, maracujá e abacaxi.** Fortaleza, 2007. 83f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) –Universidade Federal do Ceará. 2007.

SPECHT, S.; BLUME, R. Competitividade e segmento de mercado à cadeia do morango: algumas evidências sobre o panorama mundial e brasileiro. **Congresso Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural**. Porto Alegre 2009.

TONON, R. V. **Secagem por atomização do suco de açaí: Influência das variáveis de processo, qualidade e estabilidade do produto.** Campinas, 2009. 242 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas. 2009.

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

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

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

TONON, R. V.; BRABET, C.; PALLET, D.; BRAT, P.; HUBINGER, M. D. Physicochemical and morphological characterisation of açaí (*Euterpe oleraceae* Mart.) powder produced with different carrier agents. **International Journal of Food Science & Technology**, v.44, p.1950-1958, 2009a.

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, n.1, p.55-65, 2005.

ULRICH, D.; HOBERG, E.; RAPP, A.; KECKE, S. Analysis of strawberry flavour - discrimination of aroma types by quantification of volatile compounds. **Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und -Forschung A**. v.205, p.218–223. 1997.

- VALDUGA, E.; LIMA, L.; do PRADO, R.; PADILHA, F. F.; TREICHEL, H. Extração, secagem por atomização e microencapsulamento de antocianinas do bagaço da uva isabel (*Vitis labrusca*). **Ciência e agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1568-1574, set./out., 2008.
- VALENTE, A. L. P.; AUGUSTO, F. Microextração por fase sólida. **Química Nova**, v.23, n.4, 2000.
- VALIM, M. F.; ROUSEFF, R. L.; LIN, J. Gas chromatographic-olfactometric characterization of aroma compounds in two types of cashew apple nectar. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.51, n.4, p. 1010-1015. 2003.
- VANDENDRIESSCHE, T.; VERMEIR, S.; MARTINEZ, C. M.; HENDRICKX, Y.; LAMMERTYN, J.; NICOLAÏ, B. M.; HERTOOG, M. L. A. T. M. T. Effect of ripening and inter-cultivar differences on strawberry quality. **LWT - Food Science and Technology** v.xxx, p.1-9. 2012.
- VERHOEVEN, H.; BEUERLE, T.; SCHWAB, W. Solid-phase microextraction: artefact formation and its avoidance. **Chromatographia**. v.46, n1/2, jul. 1997.
- VOLP, A. C. P.; RENHE, I. R. T.; BARRA, K. STRINGUETA, P. C. Flavonóides antocianinas: características e propriedades na nutrição e saúde. **Revista Brasileira de Nutrição Clínica**. v.23, n.2, p.141-149. 2008.
- WU, X. e PRIOR, R. L. . Systematic identification and characterization of anthocyanins by HPLC–ESI–MS/MS in common foods in the United States: Fruits and berries. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.53, n.7, p.2589–2599. 2005.
- YOUSEFI, S., EMAM-DJOMEH, Z.; MOUSAVI, M. S. Effect of carrier type and spray drying on the physicochemical properties of powdered and reconstituted pomegranate juice (*Punica Granatum* L.). **Journal of Food Science and Technology**, v.48, p.677- 684, 2011.
- YUN-TAO, Z.; GUI-XIA, W.; JING, D.; CHUAN-FEI, Z.; JIN, K.; TIAN-ZHONG, L.; ZHEN-HAI, H. Analysis of Volatile Components in Strawberry Cultivars Xingdu 1 and Xingdu 2 and Their Parents. **Agricultural Sciences in China**. v.8, n.4, p.441-446. 2009.
- ZHANG, Y., VAREED, S. K., NAIR, M G. Human tumor cell growth inhibition by nontoxic anthocyanidins, the pigments in fruits and vegetables. **Life Sciences**, v.76, n.13, p.1465-1472, 2005.
- ZHENG, Y.; WANG, S. Y.; WANG, C. Y.; ZHENG, W. Changes in strawberry phenolics, anthocyanins, and antioxidant capacity in response to high oxygen treatments. **LWT. Food Science and Technology**, v.40, p. 49–57. 2007.