

**Microencapsulamento de polpa de camu-camu
(*Myrciaria dubia* H. B. K. (McVough)) por
spray drying**

Nina Katia da Silva

Projeto de Final de Curso

Orientadores

Prof. Suely Pereira Freitas, *D. Sc.*
Felix Emílio Prado Cornejo, *D. Sc.*

Rio de Janeiro, RJ
Março de 2010

MICROENCAPSULAMENTO DE POLPA DE CAMU-CAMU (*Myrciaria dubia* H. B. K. (McVough)) POR SPRAY DRYING

Nina Katia da Silva

Projeto de Final de Curso submetido ao Corpo Docente da Escola de Química, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Engenheiro de Alimentos.

Aprovado por:

Ana Lúcia Vendramini, *D. Sc.*

Sonia Couri, *D. Sc.*

Isabelle Santana, *M. Sc.*

Orientado por:

Suely Pereira Freitas, *D. Sc.*

Félix Emílio Prado Cornejo, *D. Sc.*

Rio de Janeiro, RJ – Brasil

Março de 2010

Silva, Nina Katia da.

Microencapsulamento de polpa de camu-camu (*Myrciaria Dubia* H. B. K. (McVough)) por spray drying/ Nina Katia da Silva. Rio de Janeiro: UFRJ/EQ. 2010.

68 páginas

(Projeto Final) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, 2010.
Orientadores. Suely Pereira Freitas e Félix Emílio Prado Cornejo.

1. Camu-camu. 2. Spray dryer. 3. Isotermas de Sorção. 4. Monografia (Graduação – UFRJ/EQ). 5. Suely P. Freitas e Félix E. P. Cornejo. I. Microencapsulamento de polpa de camu-camu (*Myrciaria Dubia* H. B. K. (McVough)) por spray drying

Dedico este trabalho ao meu pai - meu herói -
e a todos aqueles que estavam presentes nos momentos difíceis.

"Jamais considere seus estudos como uma obrigação, mas como uma oportunidade invejável (...) para aprender a conhecer a influência libertadora da beleza do reino do espírito, para seu próprio prazer pessoal e para proveito da comunidade à qual seu futuro trabalho pertencer"

Albert Einstein

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que me permitiu chegar aqui.

Agradeço a meu pai, que, do seu jeito, sempre me apoiou e me guiou através dos caminhos imprevistos da vida. Sou quem eu sou graças a você.

Agradeço a meus irmãos por sempre me perdoarem depois das brigas e continuarem me amando.

Agradeço a minha mãe, por se esforçar em ser uma boa mãe.

Agradeço aos meus tios Kátia e Gabriel, por sempre me fornecerem casa, comida e roupa lavada.

Agradeço à Prof. Suely, sempre disponível e acessível qualquer que fosse o assunto.

Agradeço ao pessoal da Embrapa: meu orientador oficial Félix Cornejo e minha orientadora adotiva Virgínia da Matta, sempre me guiando; ao técnico Filé, meu salvador em vários momentos; ao amigo André Luis Rodrigues, uma amizade nascida entre vidrarias e equipamentos caros; e aos colegas de laboratório.

Agradeço à D. Maria e à Jô, do Ladeq, que nunca reclamaram das minhas infinitas entradas e saídas do laboratório, sempre procurando a chave...

Agradeço à Funarbe, pelo apoio financeiro a esse trabalho.

Agradeço a meus amigos queridos presentes em todos os momentos: momentos de estudo, de alegria, de descanso, de apoiar o estudo avançando na madrugada, de desespero, de papo-furado, de silêncio, e claro, de festas! Adrielle Saldanha, Alexandre Peçanha, Bruno Bob, Carolina Marques, Caroline Cayres, Caroline Golfeto, Caroline Morais, Cláudia Rodrigues, Eduardo Menezes, Eliene Gabriel, Leonardo Queiroz, Luciana Santoro, Ludmylla Bastos, Teresa Almeida, Thiago Rocha e Udson Piva agradeço por estarem presente no momento certo. Meus amores Delzio James, Fernando Soído, Gisele Queiroz, Juliana Cruz, Liana Ferreira, Maurilio Mesquita e Ricardo Pereira, que sempre agüentaram minhas chatices, vocês são tudo!!

Resumo do Projeto de Final de Curso apresentado à Escola de Química como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Engenheiro de Alimentos.

MICROENCAPSULAMENTO DE POLPA DE CAMU-CAMU (*Myrciaria dubia* H. B. K. (McVough)) POR SPRAY DRYING

Nina Katia da Silva

Março, 2010

Orientadores: Prof. Suely Pereira Freitas, *D. Sc.*

Félix Emílio Prado Cornejo, *D. Sc.*

O camu-camu é uma fruta amazônica que contém um elevado teor de vitamina C (até 2606mg por 100g de fruto) associada com carotenóides e antocianinas. Este trabalho teve como objetivo testar dois diferentes encapsulantes (maltodextrina (MD) ou goma arábica (GA)) na secagem da polpa de camu-camu por spray e determinar as isotermas de sorção de água de amostras do pó microencapsulados com ambos encapsulantes, na concentração de 15% p/p, à 25°C. A secagem foi realizada a temperatura de entrada de 180°C±5°C e de saída de 80°C±5°C. Isotermas de sorção são curvas que relacionam a quantidade de água adsorvida pelo material com a atividade de água do ambiente, a uma dada temperatura. Metodologia: As amostras de polpa de camu-camu foram adicionadas de 15% de cada encapsulante e introduzidas no spray-dryer. O pó resultante foi armazenado em freezer em embalagens metalizadas seladas a vácuo até a execução das análises. Foram realizadas análises de pH, Brix, sólidos totais, acidez, compostos fenólicos totais e atividade antioxidante. Para a construção das isotermas foi utilizado o método estático gravimétrico. Neste caso, as amostras foram dispostas em triplicata no interior de dessecadores com atividade de água e temperatura controladas. Determinou-se a umidade das amostras, após o equilíbrio, utilizando 7 soluções salinas supersaturadas com atividade de água variando de 0,011 a 1,00. As pesagens periódicas das amostras foram registradas até peso constante. A umidade das amostras foi determinada em estufa a 60°C por 90 minutos. Foram utilizados os modelos de BET e GAB para ajuste dos dados experimentais usando o software Statística (v 7.0). Resultados: A goma arábica apresentou melhores características como encapsulante para a polpa de camu-camu. Os modelos selecionados representaram de forma satisfatória os dados experimentais. Os coeficientes de regressão (R^2) para os ajustes foram superiores a 0,99 com variância explicada maior que 95%. A umidade na monocamada foi menor para o camu-camu em pó MD ($U_m=0,0274$) que para o GA ($U_m=0,0438$). Conclusão: O pó de camu-camu GA apresentou maior afinidade ao vapor d'água principalmente em ambientes com menor atividade de água. O pó de camu-camu é bastante hidrofílico e deve ser armazenado em ambientes com atividade de água menor que 0,432. Independente do encapsulante, o pó solubilizou no ambiente com atividade de água superior a 0,743.

SUMÁRIO

ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE TABELAS.....	xii
Capítulo I – INTRODUÇÃO.....	1
Capítulo II: OBJETIVOS.....	3
2.1 Objetivo geral.....	3
2.2 Objetivos específicos.....	3
Capítulo III – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1 – Matéria Prima.....	4
3.1.1 Camu-camu.....	4
3.1.2 Material de parede.....	10
3.2 Carotenóides, compostos fenólicos e ácido ascórbico.....	12
3.3 Secagem.....	14
3.4 Microencapsulamento.....	18
3.4.1 Atomização.....	19
3.4.2 Contato gotículas-ar quente.....	19
3.4.3 Evaporação da água.....	20
3.4.4 Separação produto seco-ar úmido.....	20
3.5 Transferência de massa e de energia.....	20
3.6 Atividade de água.....	21
3.7 Psicrometria.....	23
3.8 Isotermas de sorção.....	24
Capítulo IV: MATERIAIS E MÉTODOS.....	28
4.1 Matéria Prima.....	28
4.2 Processamento por spray dryer.....	28
4.3 Análises.....	30
4.4 Comparação dos resultados.....	31
4.5 Determinação das isotermas de sorção do camu-camu em pó.....	32
4.6 Análise estatística.....	33

Capítulo V: RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
5.1 Análises químicas e físicas	34
5.2. Análise granulométrica	38
5.3 Balanços de massa e energia	38
5.4 Isotermas de sorção de água	40
5.5 Modelos matemáticos	42
Capítulo VI: CONCLUSÃO E SUGESTÕES	45
Capítulo VII: BIBLIOGRAFIA	46
APÊNDICE - Cálculos	50
ANEXO – Gráfico Psicrométrico	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1 Fruto do camu-camu maduro	5
Figura 3.2 Propaganda de produto à base de camu-camu.....	6
Figura 3.3 Teor de vitamina C do camu-camu comparado com outras frutas tropicais.....	7
Figura 3.4 Curvas de desidratação de sólido úmido em ar em temperatura e pressão constantes.....	15
Figura 3.5 Esquema de secagem por spray.....	18
Figura 4.1 Diagrama de blocos do processo de secagem por spray-dryer.....	28
Figura 4.2. Experimentos de sorção do camu-camu em pó pelo método estático gravimétrico. $T=25 \pm 1^{\circ}\text{C}$	33
Figura 5.1a Distribuição do tamanho de partículas do pó de camu-camu encapsulado.....	38
Figura 5.1b Curva de distribuição granulométrica acumulada do pó de camu-camu encapsulado.....	38
Figura 5.2 Isotherma de adsorção de água de camu-camu em pó encapsulado com 15% de maltodextrina.....	41
Figura 5.3 Isotherma de adsorção de água de camu-camu em pó encapsulado com 15% de goma arábica.....	41
Figura 5.4 Isotherma de adsorção de água de camu-camu em pó encapsulado com 15% de maltodextrina: após 1 semana.....	42
Figura 5.5 Isotherma de adsorção de água de camu-camu em pó encapsulado com 15% de goma arábica: após 1 semana.....	42
Figura 5.6 Isotherma de sorção do camu-camu encapsulado com maltodextrina. Dados experimentais ajustados pelo modelo de BET. $R^2 = 0,997$. Umidade na monocamada (U_m) = 0,0274; $C_{\text{BET}}=0.100$	43
Figura 5.7 Isotherma de sorção do camu-camu encapsulado com goma arábica. Dados experimentais ajustados pelo modelo de BET. $R^2 = 0,971$. Umidade na monocamada (U_m) = 0,0438; $C_{\text{BET}}=0.100$	44

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1 Conteúdo de ácido ascórbico da polpa de camu-camu.....	8
Tabela 3.2 Caracterização física, química e físico-química do fruto de camu-camu.....	9
Tabela 4.1 Dados operacionais do mini <i>spray-dryer</i>	29
Tabela 4.2 Atividade a 25°C das soluções salinas supersaturadas.....	32
Tabela 5.1 Valores de pH da polpa de camu-camu e do produto em pó.....	34
Tabela 5.2 Valores de acidez da polpa de camu-camu e do produto em pó.....	35
Tabela 5.3 Teores de sólidos totais da polpa de camu-camu e umidade do produto em pó.....	34
Tabela 5.4. Valores de atividade antioxidante da polpa de camu-camu e do produto em pó.....	36
Tabela 5.5 Valores de compostos fenólicos totais da polpa de camu-camu e do produto em pó.....	37
Tabela 5.6 Valores de vitamina C da polpa de camu-camu e do produto em pó.....	37
Tabela 5.7 Relação de concentração de compostos entre o pó e a polpa.....	37
Tabela 5.8 Balanço de massa de sólidos no processo.....	39
Tabela 5.9 Balanço de massa da água no processo.....	39
Tabela 5.10 Balanço de energia na secagem.....	40

Capítulo I: INTRODUÇÃO

O camu-camu (*Myrciaria dúbia*) é uma pequena fruta arredondada, com coloração variando de avermelhada a roxo, proveniente de um arbusto ou pequena árvore, pertencente à família *Myrtaceae*, disperso em quase toda a Amazônia, encontrado no estado silvestre nas margens dos rios e lagos, geralmente de água preta. A fruta é originária do Peru, mas existe em toda a Amazônia. No Brasil, o camu-camu só foi descoberto no fim da década de 70. A colheita da fruta ocorre praticamente o ano todo, mas a produção ainda é pequena (INPA, 2007).

A partir de 1980 estudos sobre seu cultivo e processamento têm sido desenvolvidos pelo Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA). A concentração de vitamina C presente no camu-camu é muito elevada (de até 2606mg por 100g de fruto), superior a encontrada na maioria das plantas cultivadas, sendo esta característica apontada como a maior qualidade deste fruto (INPA, 2007). Além da presença de carotenóides e antocianinas, compostos que desempenham diversas funções e ações benéficas ao ser humano, é ainda uma rica fonte de minerais como potássio, cálcio e zinco (YUYAMA *et al.*, 2003, citado por PINEDO, 2007).

É de conhecimento geral que antioxidantes presentes em alimentos (como polifenóis, esteróis, tocoferol, vitaminas A e C, flavonóides, etc.) têm um papel importante na proteção do organismo contra várias doenças pois conseguem quelar as espécies reativas de oxigênio (ANTUNES e CANHOS, 1984; BRENNAN e PAGLIARINI, 2001; ZHENG e WANG, 2001, citados por PINEDO, 2007). Portanto, recomenda-se o consumo adequado de alimentos ricos em compostos antioxidantes como parte de uma dieta saudável.

O camu-camu maduro é muito perecível, apresentando vida curta de prateleira. Além disso, a vitamina C e outros compostos presentes na fruta são substâncias termo-sensíveis. Neste caso, é necessário buscar um método de processamento, conservação e armazenamento que preserve as características nutricionais do fruto.

O processo de secagem é usado há milênios na conservação de alimentos, e ao mesmo tempo em que prolonga a vida útil dos mesmos facilita o transporte, pela redução de peso devido à eliminação de água. A secagem é um processo combinado de transferência de calor e massa, na qual se reduz a disponibilidade ou atividade de água de

um alimento, e conseqüentemente evita-se o crescimento microbiano e as reações químicas e bioquímicas (MOURA *et al.*, 2004).

A secagem por atomização em spray-dryer é um processo amplamente usado para produzir alimentos desidratados (ABADIO *et al.*, 2004; CANO-CHAUCA *et al.*, 2005; QUEK *et al.*, 2007, citado por TONON *et al.*, 2008). Esta secagem resulta em um pó muito fino com baixa atividade de água. Durante o processo de secagem a evaporação do solvente, geralmente água, é rápida e o aprisionamento do componente de interesse ocorre quase que instantaneamente. Isto requer a adição e um controle estrito dos materiais encapsulantes a serem utilizados para uma otimização das condições de operação. Apesar da secagem por atomização ser considerada apenas um processo de desidratação, esse é o método de microencapsulação mais antigo e mais utilizado na indústria de alimentos em razão do custo mais baixo, da flexibilidade e por produzir partículas de boa qualidade para manuseio e armazenamento (GOUIN, 2004, citado por SOUZA *et al.*, 2008).

Dib Taxi (2001) estudou condições de microencapsulamento de polpa de camu-camu com maltodextrina e goma arábica como encapsulantes, e concluiu que as condições mais adequadas para obtenção simultânea de bons rendimentos em matéria seca e vitamina C foram atingidas quando utilizado 15% de material de parede e temperatura de entrada do ar de secagem de 150°C.

O pó de sucos de frutas obtido por atomização pode apresentar algumas propriedades indesejadas, como alta higroscopicidade e solubilidade, devido à presença de açúcares de baixo peso molecular e ácidos, que possuem baixa temperatura de transição vítrea (BHANDARI *et al.*, 1993, citado por TONON *et al.*, 2008). Com isso ele pode aderir às paredes da câmara de secagem durante a mesma, diminuindo o rendimento e causando problemas operacionais. Para minimizar estas dificuldades, agentes encapsulantes, como gomas e polímeros naturais, são adicionados ao suco de fruta antes do processamento. Além de reduzir a higroscopicidade, são estes agentes que protegem componentes sensíveis (especialmente as vitaminas) contra condições ambientais desfavoráveis, podendo ainda mascarar ou preservar aromas, reduzir a volatilidade e reatividade e promover um atrativo adicional para a comercialização do alimento (RÉ, 1998 citado por TONON, 2008).

Capítulo II: OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho foi comparar o efeito protetor de dois polissacarídeos utilizados como encapsulantes (maltodextrina e goma arábica) na secagem do camu-camu por atomização.

2.2 Objetivos específicos

- i- Secagem por atomização da polpa de camu-camu com os encapsulantes goma arábica e maltodextrina;
- ii- Realização de análises laboratoriais (sólidos totais, atividade antioxidante, compostos fenólicos, vitamina C, pH, acidez, Brix e granulometria) para verificar o efeito protetor de cada encapsulante sobre diversas propriedades,
- iii- Determinação das isotermas de sorção de água da polpa de camu-camu em pó microencapsulada pelo método gravimétrico estático e ajuste das mesmas através dos modelos matemáticos de BET e de GAB.

Capítulo III: Revisão Bibliográfica

3.1 Matéria Prima

3.1.1 Camu-camu

O sabor das frutas tropicais exóticas tem despertado um crescente interesse para com os consumidores de todo mundo. Frutas que são pouco conhecidas fora dos trópicos apresentam frequentemente importância regional, mas a demanda por sabores novos e exóticos tem atraído a atenção das indústrias brasileiras. No Brasil, especialmente a região amazônica e o nordeste brasileiro, apresentam uma abundância natural de frutas com sabores distintos (INPA, 2007).

O camu-camu, caçari, ou araçá-d'água (*Myrciaria dubia* H. B. K. (McVough)) é um arbusto ou pequena árvore, pertencente à família *Myrtaceae*, disperso em quase toda a Amazônia, encontrado no estado silvestre nas margens dos rios e lagos, embora originária do Peru. No Brasil, o camu-camu só foi descoberto no fim da década de 70 (INPA, 2007).

O camu-camu é uma espécie tipicamente silvestre, mas com um grande potencial econômico para a região amazônica, podendo ser comparada ao açaí e ao cupuaçu. A área de produção estende-se da região central do estado do Pará até a Amazônia Peruana, passando pelos estados do Amazonas, Roraima e Rondônia. Plantas nativas deste fruto podem ser encontradas nos estados do Maranhão e Tocantins (INPA, 2007). Atualmente, o camu-camu está sendo cultivado no estado de São Paulo, em regiões de mangue e de clima quente e úmido, condições semelhantes às encontradas na Amazônia.

Os frutos de camu-camu são globosos, 10 a 32 mm de diâmetro, de coloração vermelha ou rósea, e roxo escuro no estágio final de maturação, e de polpa esbranquiçada. Dada à elevada acidez, dificilmente são consumidos na forma natural. Na Amazônia peruana, onde é bastante consumido, é utilizado para o preparo de refresco, sorvete, picolé, geleia, doce, licor, ou para conferir sabor a tortas e sobremesas (JORNAL DA UNICAMP, 2007).

A Figura 3.1 mostra o fruto do camu-camu maduro na planta.



Figura 3.1 Fruto do camu-camu maduro (Fonte: INPA, 2007).

A grande desvantagem da comercialização da fruta do camu-camu *in natura* é o reduzido tempo de vida útil, mesmo quando armazenados sob refrigeração, devido principalmente a danos de tecidos e células durante o manuseio e/ou transporte, levando à perda de peso devido ao ressecamento, aumento da taxa de respiração e da atividade metabólica facilitando a atuação de enzimas e modificando os substratos (ARÉVALO E KIECKBUSCH, 2005, citado por PINEDO, 2007).

Portanto, para ser transportado a longas distâncias recomenda-se que os frutos sejam processados e congelados. Para se conseguir um melhor resultado, antes do processamento, os frutos estragados devem ser eliminados e os demais lavados em água limpa e corrente. Para a obtenção da polpa deve-se dispor de uma despoldadeira convencional, utilizando-se uma peneira adequada (malha de aproximadamente 1 mm), a fim de se obter o "suco concentrado" do camu-camu (INPA, 2007). Após a obtenção da polpa, esta deve ser imediatamente resfriada ou congelada para evitar fermentação que, em geral, ocorre se mantida à temperatura ambiente. A polpa congelada deve ser conservada em freezer ou câmara de congelamento, protegida da ação da luz direta e/ou frequente para que o produto se mantenha em condições satisfatórias pelo período de um ano de armazenamento (INPA, 2007).

O camu-camu, devido a sua elevada acidez, dificilmente pode ser consumido *in natura*. Para seu processamento deve-se utilizar, além da polpa, também a casca, pois

contém os pigmentos antociânicos que conferem coloração avermelhada ao suco e contribui, também, para elevar o teor de vitamina C, que é cerca de 2 a 2,5 vezes o teor encontrado na polpa (RUIZ, 1994, citado por DIB TAXI, 2001). Além disso, o processamento do fruto é uma opção para agregar valor à matéria-prima e minimizar as perdas que normalmente ocorrem durante a comercialização do produto *in natura*.

A safra principal do camu-camu se estende de dezembro a março, com elevados índices de produção entre janeiro e fevereiro. O rendimento varia entre 10 a 15 toneladas por hectare/ano. O camu-camu prefere ambientes alagadiços e produz com maior frequência em águas claras e seu tronco permanece submerso até uma altura de 30% a 40% de seu tamanho total. É tolerante à inundação e pode permanecer até 4 ou 5 meses submerso. Seu cultivo em terra firme apresentou resultados promissores em solos com elevada umidade. Esta condição requer uma irrigação sistemática. A principal vantagem do cultivo em bosque, em relação às plantações nativas, é a da produção contínua, mais adequada às necessidades de abastecimento para a indústria. Nas áreas naturais, a produção é limitada pela enchente dos rios, época em que a coleta é feita com o auxílio de canoas (INPA, 2007).

A partir de 2002, empresas localizadas no Brasil, Estados Unidos, Japão e Comunidade Européia vêm demonstrando interesse em comprar grandes quantidades de camu-camu para as indústrias de medicamentos, cosméticos, alimentos e bebidas (INPA, 2007). Em dezembro de 2006, o Brasil iniciou as exportações para o Japão (Jornal da Unicamp, 2007).



Figura 3.2 Propaganda de produto à base de camu-camu. Fonte: Site “Que barato”, 2009.

Os Estados Unidos importam camu-camu da América do Sul para a produção de “camu-plus”, que são tabletes de vitamina C natural (EMBRAPA, 2006).

Hoje, no Brasil, é possível comprar o fruto congelado, diretamente do produtor ou no mercado varejista de alimentos. Segundo Maeda & Andrade (2003), apesar do aumento da oferta, o sabor amargo e a elevada acidez da polpa restringem o consumo direto do fruto. Este fato tem motivado diversas pesquisas para avaliar algumas tecnologias

inovadoras no processamento do camu-camu, com o objetivo de minimizar características sensoriais indesejáveis e fornecer formas alternativas de consumo do fruto. Neste cenário destaca-se o processo de separação por membranas. A Embrapa Agroindústria de Alimentos em parceria com a comunidade Européia e Universidades brasileiras, vêm pesquisando alternativas tecnológicas para processamento do camu-camu (BARRETO, 2008).

O camu-camu se destaca entre as outras frutas pelos elevado teor de ácido ascórbico (Figura 3.3), que lhe confere propriedades funcionais e aumenta o interesse pelo seu cultivo. Registros sobre o camu-camu encontrados na literatura apresentam grande variação do conteúdo de ácido ascórbico, indicando a presença de até 6000 mg de ácido ascórbico/100g de polpa (PINEDO, 2007), conforme pode ser visto na Tabela 3.1.

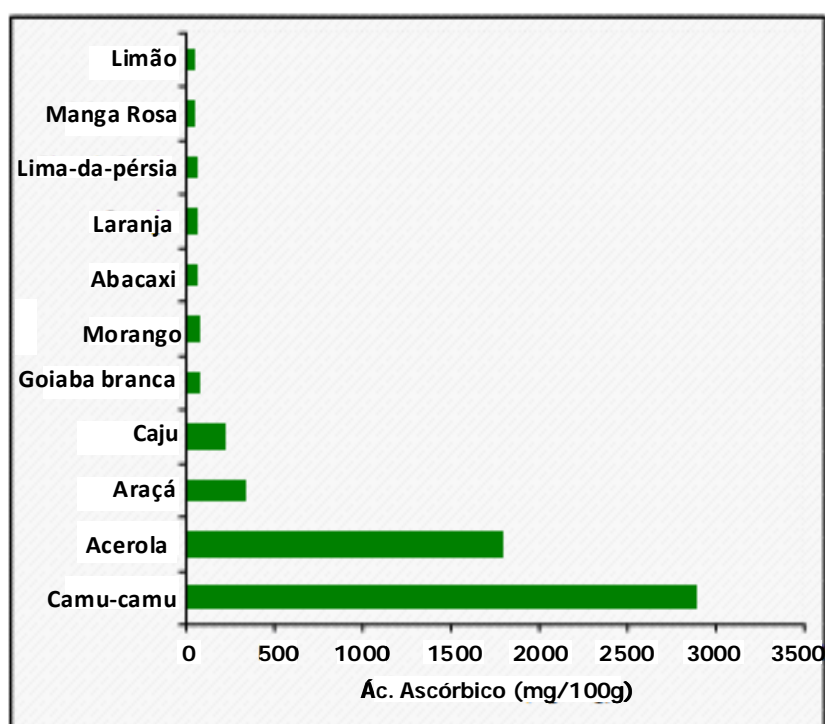


Figura 3.3 Teor de vitamina C do camu-camu comparado com outras frutas tropicais (Fonte: Barreto, 2008)

Análises efetuadas na casca indicaram que o teor de vitamina C nela contido é de cerca de 5%, em média, sendo superior ao conteúdo de vitamina C observado na polpa, que constitui cerca de 55% do peso do fruto (VILLACHICA, 1996, citado por DIB TAXI,

2001). Apesar da recorrente citação de que os teores de vitamina C do camu-camu são superiores ao da acerola, deve-se lembrar que fatores ambientais (temperatura, intensidade solar, chuvas, solo, etc.) e também a variedade estudada têm influência no teor da vitamina C; e para que se possa efetivamente afirmar que um teor é superior ao outro, os frutos a serem analisados deverão estar submetidos às mesmas condições (DIB TAXI, 2001).

A Tabela 3.1 mostra a variação no teor de vitamina C de várias amostras de camu-camu colhidas em diferentes regiões do país.

Tabela 3.1 Conteúdo de ácido ascórbico da polpa de camu-camu (Fonte: Pinedo, 2007)

Ácido ascórbico (mg/100g de polpa)	Procedência	Referência
2585,40	Rio Preto da Eva/AM/Brasil	Maeda <i>et al.</i> (2006)
2100	Pucallpa/Peru	Guija <i>et al.</i> (2005)
1721,65	Vale da Ribeira/SP/Brasil	Silva (2004)
1300	Manaus/Brasil	Dib Taxi <i>et al.</i> (2003)
3571-6112	Roraima/Brasil	Yuyama <i>et al.</i> (2002)
1489	Vale da Ribeira/SP/Brasil	Arévalo <i>et al.</i> (2002)
1355	Manaus/Brasil	Rodriguez (2002)
1400	Paraná/Brasil	Justi <i>et al.</i> (2000)
1910-2061	Belém/Brasil	Alves <i>et al.</i> (2000)
890	Manaus/Brasil	Aragão <i>et al.</i> (1996)
939	Iquitos/Peru	Zapata e Dufour (1993)
2489-3133	Manaus/Brasil	Andrade (1991)
2880	Supay-Lo/Peru	Peters e Vásquez, (1986/ 1987)

Além da alta concentração de vitamina C, o camu-camu apresenta concentrações consideráveis de potássio e cálcio (entre 62 e 144mg/100g de polpa de potássio e entre 9,5 e 10,6 mg/100g de polpa de cálcio – YUYAMA *et al.*, PINEDO, 2007), e ainda

carotenóides e antocianinas (CLEMENT & SILVA, 1994; ROQUE, 1994; JUSTI *et al.*, 2000).

A vitamina C, juntamente com as vitaminas dos grupos A e E e outros compostos presentes em certas frutas como flavonóides, carotenóides, ácidos fenólicos, etc., já demonstraram apresentar ação na diminuição do risco de câncer e no retardo do envelhecimento, devido ao seu poder antioxidante, entre outros mecanismos de ação (CARAGAY, 1992, citado por DIB TAXI, 2001).

A Tabela 3.2 fornece alguns dados de caracterização do fruto de camu-camu obtido na Estação Experimental de Fruticultura Tropical do Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia – INPA (ANDRADE, 1992, citado por DIB TAXI, 2001).

Tabela 3.2 Caracterização física, química e físico-química do fruto de camu-camu

Parâmetro	Resultado médio
Peso do fruto	8,28g
Peso da casca	1,18g
Peso do endocarpo	5,76g
Peso das sementes	1,34g
Densidade	1,022g/mL
Umidade	91,20%
pH	3,05
Acidez titulável (ácido cítrico)	2,84%
° Brix	7,75
Relação Brix/Acidez	2,73
Sólidos solúveis em álcool	1,70%
Pectina total	224,58mg/100g
Pectina solúvel	209,02mg/100g
Protopectina	15,50mg/100g

Antocianina total (polpa)	43,3mg/100g
Compostos fenólicos (ext. metanol)	861,34 mg/100g
Vitamina C total (polpa)	2950,62 mg/100g

Fonte: Andrade *et al.* (1992), citado por Dib Taxi (2001)

Franco e Shibamoto (2000) citados por Franco (2003) estudaram os compostos voláteis do camu-camu, juntamente com umbu-cajá e araçá-boi, através da técnica de headspace dinâmico. Os compostos voláteis das três frutas se caracterizam por uma quantidade muito alta de compostos terpênicos. No camu-camu, os terpenos alcançaram uma proporção relativa de 98%. O monoterpeneo α -pineno predominou na fração volátil dessa fruta (66%), seguido por d-limoneno (24%). Entre os sesquiterpenos, β -cariofileno apresentou a maior porcentagem (4,6%).

3.1.2 Material de parede

O sistema da parede destina-se a proteger o material do núcleo contra fatores que podem causar sua deterioração, a prevenir uma interação prematura entre o material do núcleo e outros ingredientes, a limitar perdas de voláteis e ainda a permitir liberação controlada ou bloqueada sob condições desejadas (SHAHIDI & HAN, 1993, citados por GHARSALLAOUI, 2007).

A escolha do material de parede para o microencapsulamento por secagem por spray é muito importante para a eficiência do encapsulamento e para a estabilidade da microcápsula. Os critérios para a seleção do material de parede são principalmente baseados em propriedades físico-químicas tais como solubilidade, cristalinidade, formação de filme e propriedades emulsificantes. Além disso, o custo deve ser considerado. Assim, a escolha sensata do material encapsulante de acordo com a aplicação desejada é uma tarefa importante (GHARSALLAOUI, 2007).

Como quase a totalidade dos processos na indústria de alimentos utiliza formulações aquosas, o material de parede deve ser solúvel em água em níveis aceitáveis (GOUIN, 2004, citado por GHARSALLAOUI, 2007). Além disso, deve possuir boas propriedades de emulsificação, formação de filme e secagem, e deve apresentar baixa

viscosidade em soluções concentradas (REINECCIUS, 1988, citado por GHARSALLAOUI, 2007). Muitos materiais de parede disponíveis possuem essas características, mas o número de materiais aprovados para uso alimentar é limitado em diversos países (DZIEZAK, 1988, citado por GHARSALLAOUI, 2007).

Muitos biopolímeros têm sido utilizados no microencapsulamento de vários ingredientes alimentícios. Pode-se conseguir encapsulamento com gomas naturais (goma arábica, alginatos, carragenas, etc.), proteínas (proteína do leite ou do trigo, gelatina, etc.), maltodextrinas com diferentes dextrose equivalente, ceras e suas misturas. Mas materiais de parede típicos para encapsulamento por secagem por spray são carboidratos de baixo peso molecular, proteínas de leite ou soja, gelatina e hidrocolóides como goma arábica (REINECCIUS, WARD, WHORTEN, & ANDON, 1995; THEVENET, 1995, citados por GHARSALLAOUI, 2007) e materiais locais como goma mesquita (BERISTAIN & VERNON-CARTER, 1994; BERISTAIN, GARCIA, & VERNON-CARTER, 2001 citados por GHARSALLAOUI, 2007) e goma de tapioca (LOKSUWAN, 2007)

As propriedades dos amidos podem ser modificadas mediante diferentes tratamentos, de modo a se tornarem apropriados para sua incorporação como ingrediente de alimentos (ORDÓNEZ, 2005).

A maltodextrina é um amido modificado pela dextrinização, que é um tratamento do amido com ácido volátil forte (HCl), hidrolisando-o, com conseqüente redução de peso molecular. Esses amidos proporcionam soluções de menor viscosidade e géis de menor firmeza, são utilizados em confeitaria para a elaboração de balas de goma, por sua capacidade de formar pastas concentradas a quente, que geleificam muito bem ao esfriar. A maltodextrina apresenta baixa capacidade emulsificante, entretanto é a mais disponível e de menor custo (ORDÓNEZ, 2005). Maltodextrinas promovem boa estabilidade oxidativa para óleos encapsulados, mas possuem capacidade emulsificante baixa (GHARSALLAOUI, 2007).

Sob denominação de goma, inclui-se o amplo grupo de polissacarídeos solúveis em água, procedentes de vegetais terrestres ou marítimos ou de origem microbiana, e que têm capacidade de aumentar a viscosidade da solução e de formar géis devido ao seu caráter altamente hidrófilo (ORDÓNEZ, 2005). São muito utilizadas em tecnologia de alimentos como geleificantes e espessantes.

Gomas são usadas em microencapsulamento por sua qualidade em propriedades como formação de filmes e estabilização de emulsão. De todas as gomas, a goma arábica, também chamada goma acácia, se destaca devido à sua excelente propriedade de emulsificação e por isso é largamente utilizada. O único fator limitante para aplicações industriais é o seu o custo, já que é mais cara que as outras gomas. (GHARSALLAOUI, 2007).

A goma arábica é extraída de árvores de acácia. É composta por uma fração de polissacarídeos (70%) e uma de moléculas de baixo peso molecular e proteínas (30%). Apresenta alta solubilidade em água. Por seu baixo peso molecular e estrutura ramificada gera soluções pouco viscosas, sendo necessária uma alta concentração para apresentar uma viscosidade significativa. Sua viscosidade é alterada pelo pH, tendo os maiores valores entre pH 6 e 8. Usada em balas como ligante, pois retarda a cristalização do açúcar; em sorvetes para melhorar a textura, pois inibe a formação de cristais de gelo; em bebidas em pó como encapsulante e em produtos de padaria como ligante. Apresenta sabor suave e confere alta estabilidade oxidativa como encapsulante. Por ser dependente de variações climáticas e conflitos políticos, apresenta problemas de disponibilidade (LIMA *et al.*, 2002).

3.2 Carotenóides, compostos fenólicos e ácido ascórbico

Os carotenóides são encontrados em vegetais e classificam-se em carotenos ou xantofilas. Os carotenos são hidrocarbonetos poliênicos com variados graus de insaturação, e as xantofilas são sintetizadas a partir dos carotenos, por meio de reações de hidroxilação e epoxidação. O beta-caroteno e o licopeno são exemplos de carotenos, enquanto a luteína e a zeaxantina são xantofilas. Dentre os carotenóides, o beta-caroteno é o mais abundante em alimentos e o que apresenta a maior atividade de pró-vitamina A (AMBRÓSIO *et al.*, 2006). Estudos realizados por Zanata (2004) visando à quantificação e identificação dos carotenóides de camu-camu, cultivada em duas regiões de São Paulo (Iguape e Mirandópolis), indicaram que *all-trans*-luteína e o β -caroteno são os carotenóide principais encontrado nos frutos de camu-camu de ambas as regiões.

Os compostos fenólicos são considerados metabólitos secundários que são sintetizados pelos vegetais durante o desenvolvimento normal em resposta às condições de estresse (infecções, injúrias, radiação UV, dentre outras). Estes compostos estão presentes na nossa dieta devido a sua presença em todos os vegetais. Os compostos fenólicos contribuem para as características organolépticas dos alimentos, especialmente na cor e sabor (SHAHIDI *et al.*, 1995; e SHAHIDI *et al.*, 2004). Eles possuem ação antioxidante e atuam doando elétrons ou átomos de hidrogênio às espécies reativas de oxigênio - ROS.

Estudos clínicos e epidemiológicos têm mostrado evidências de que a atividade antioxidantes devida aos compostos fenólicos de cereais, frutas e vegetais é o principal fator que contribui para a redução da incidência de doenças crônicas e degenerativas encontradas em populações com elevada ingestão desses alimentos (SHAHIDI, 1996, citado por ROESLER *et al.*, 2007). Além disso, o interesse na administração de antioxidantes naturais nos produtos pelas indústrias de alimentos está aumentando, principalmente com relação aos alimentos ricos em gordura, já que a segurança dos antioxidantes sintéticos vem sendo questionada (HUDSON, 1990 apud TERMENTZI; KEFALAS; KOKKALOU, 2006, citados por PRADO, 2009). Desta forma, a importância da pesquisa por antioxidantes naturais tem aumentado muito nos últimos anos (JAYAPRAKASHA e JAGANMOHAN, 2000, citados por ROESLER *et al.*, 2007). Compostos típicos que possuem atividade antioxidante incluem a classe de fenóis, ácidos fenólicos e seus derivados, flavonóides, aminoácidos, ácido fítico, ácido ascórbico, pigmentos, tocoferóis, fosfolipídios e esteróis (ROESLER *et al.*, 2007).

O teor de compostos fenólicos reportado por Vizzotto *et al.* (2009) em frutas da família das mirtáceas foi 186,88 mg equivalente de ácido clorogênico/L de suco para o araçá e de 71,40 mg equivalente de ácido clorogênico/100 mL de suco para a cereja-do-rio-grande. No que se refere a atividade antioxidante foram encontrados 3021,89 µg equivalente trolox/mL de suco para o araçá e 669,50 µg equivalente trolox/mL de suco para a cereja-do-rio-grande.

O ácido ascórbico, ou vitamina C, é encontrado fundamentalmente em frutas e hortaliças, sobretudo em cítricos, kiwi e groselha. Seu conteúdo em alimentos de origem animal é muito baixo. A forma natural encontrada nos alimentos é o isômero L-. A forma D- tem apenas 10% de atividade vitamínica e é a que normalmente se acrescenta aos alimentos com fins tecnológicos, não nutritivos (PINEDO, 2007)

O ácido ascórbico oxida-se facilmente em presença de oxigênio e transforma-se, de modo reversível, em ácido deidroascórbico; posteriormente, em presença de água, este passa a ac. 2,3-dicetugulônico, com conseqüente perda de atividade vitamínica. Essa transformação depende principalmente da pressão parcial de oxigênio, do pH, da temperatura e da presença de íons metálicos, sobretudo Cu^{2+} e Fe^{3+} (ORDÓNEZ, 2005).

Nos alimentos processados que sofrem tratamento térmico, verifica-se perda de atividade vitamínica, que é proporcional à intensidade do tratamento. Se houver ainda intervenção da água, aumentam as perdas por lixiviação. Em condições de anaerobiose e atividade de água muito baixa, a degradação da vitamina C é lenta, e, por isso, sua contribuição para a perda global é muito pequena.

3.3 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 em um alimento” (FELLOWS, 2006)

Existem três fatores inter-relacionados que controlam a capacidade do ar de remover água de um alimento: a quantidade de vapor d’água no ar, a temperatura do ar e a quantidade de ar que passa pelo alimento (FELLOWS, 2006).

A quantidade de vapor no ar é expressa como umidade absoluta ou umidade relativa. A psicrometria é o estudo das propriedades inter-relacionadas dos sistemas ar-vapor d’água (FELLOWS, 2006). Essas propriedades são representadas convenientemente nas cartas psicrométricas (ver Anexo).

A temperatura do ar é chamada de temperatura de bulbo seco. Se o bulbo do termômetro for mantido envolto em um tecido úmido o calor é removido por evaporação da água na superfície. O calor latente transferido para o ar por evaporação provoca uma redução na temperatura do bulbo. Essa temperatura mais baixa é chamada temperatura de bulbo úmido e representa a condição de transporte de água para o ar no equilíbrio termodinâmico (PERRY, 2008).

O terceiro fator que controla a taxa de secagem é a velocidade do ar. Quando o ar quente é soprado sobre um alimento úmido, o vapor d’água se difunde através da camada limite de ar ao redor do alimento e é levado pelo ar em movimento. Um gradiente de

pressão de vapor de água é estabelecido entre o interior do alimento úmido e o ar seco. Esse gradiente provê a força motriz para a remoção de água do alimento (FELLOWS, 2006).

A camada limite atua como uma barreira tanto para a transferência de calor quanto para a remoção de vapor d'água durante a secagem. A espessura da camada é determinada principalmente pela velocidade do ar. Quanto maior a velocidade, menor a espessura.

Quando se deseja realizar a secagem de um alimento em corrente de ar quente paralela à superfície do alimento, considerando-se que a temperatura e a umidade do ar mantêm-se constantes durante todo o processo e que todo calor necessário é proporcionado ao produto por convecção, as mudanças do conteúdo de umidade ajustam-se a curvas de secagem similares às mostradas na Figura 3.4 (MC CABE & SMITH, 1993).

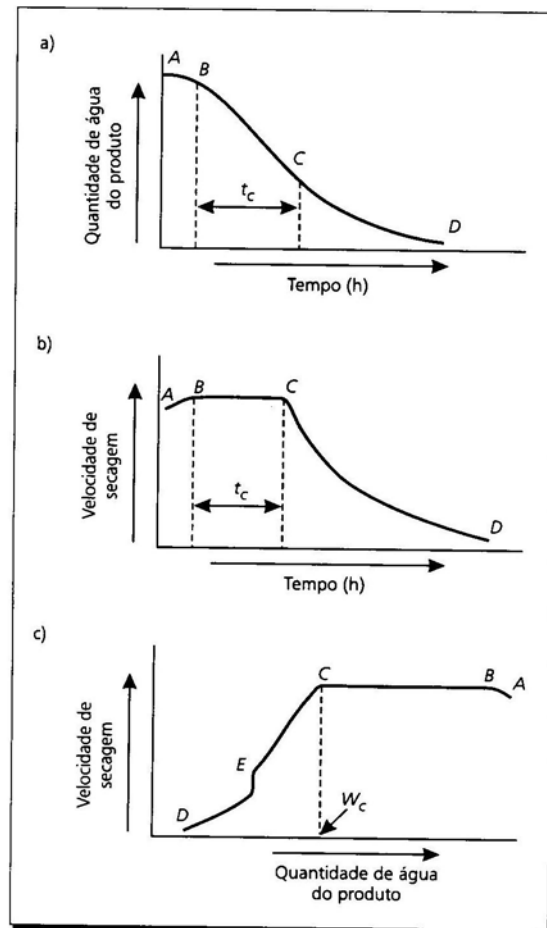


Figura 3.4 Curvas de desidratação de sólido úmido em ar em temperatura e pressão constantes. Fonte: Brennan *et al.* (1980), citado por Ordonez *et al.* (2005)

Segundo Ordóñez (2005), de acordo com a estrutura dessas curvas, em um ciclo de secagem podem-se considerar diversas fases ou etapas:

- Fase A-B – Também chamada de período de estabilização, no qual as condições da superfície do sólido equilibram-se com as do ar de secagem.
- Fase B-C – Essa etapa de secagem é conhecida como período de velocidade constante, pois é quando a superfície do sólido mantém-se saturada de água líquida devido ao fato de que o movimento da água do interior do sólido para a superfície ocorre na mesma velocidade que a evaporação na superfície. Nessa fase, a água que evapora é fundamentalmente água livre. A força motriz que determina o movimento do vapor ao longo da camada fina de ar estático é o gradiente da pressão do vapor d'água entre a superfície e a corrente principal do ar de secagem.
- Fase C-D – Também chamada de período de secagem em velocidade decrescente. Apresenta-se quando a velocidade de movimento da água do interior do alimento para a superfície se reduz, e, portanto, a pressão parcial de vapor d'água nessa superfície diminui progressivamente, e ela começa a secar. O conteúdo de umidade no ponto C, onde começa a cair a velocidade de secagem, é chamado de *conteúdo crítico de umidade*. Os alimentos não higroscópicos (aqueles que exercem a mesma pressão de vapor d'água para todos os níveis de umidade) possuem apenas um período de velocidade decrescente, enquanto os higroscópicos (nos quais a pressão parcial de vapor varia de acordo com seu conteúdo de umidade) apresentam dois. No primeiro período de velocidade crescente (CE na Figura 3.4 c), a frente de desidratação desloca-se para o centro do alimento, evapora-se água no plano de saturação, e a água difunde-se ao longo da camada de alimento desidratado. Essa etapa termina quando a frente de evaporação atinge o centro do alimento, e a pressão parcial de vapor cai abaixo da pressão de vapor de saturação. O segundo período (ED na Figura 3.4 c) ocorre quando a pressão parcial de água encontra-se abaixo da pressão de vapor de saturação, e a desidratação ocorre por dessorção.

A velocidade de secagem nesses períodos é limitada principalmente pela velocidade de movimento da umidade dentro do sólido, reduzindo-se os efeitos dos fatores externos, em especial da velocidade do ar. Nessa fase, a água está ligada à estrutura do alimento, e seu deslocamento através da camada desidratada é muito lento. Portanto para que a velocidade de secagem seja significativa é necessário

umentar a temperatura do produto para proporcionar o calor de dessecção suficiente e elevar a pressão de vapor d'água no alimento. A partir do ponto C a temperatura da superfície começa a elevar-se progressivamente durante o restante do processo de desidratação, até aproximar-se da temperatura de bulbo seco do ar, quando o produto dessecou-se quase totalmente (FELLOWS, 2006).

As vantagens da secagem são várias, entre as quais destacam-se: melhor conservação do produto e redução do seu peso. Em muitos casos, a secagem é mais econômica do que outros processos de conservação. Porém, os produtos secos e desidratados não são estéreis. A umidade final do produto costuma situar-se entre 1 e 5%, o que permite sua conservação durante períodos de tempo relativamente longos (até um ano). Contudo, durante seu armazenamento, podem surgir diversas causas de alteração, que normalmente podem ser evitadas com o uso de embalagem adequada e correta manipulação (ORDÓNEZ, 2005).

Alguns produtos quando submetidos à secagem conservam bastante intactas suas características físicas e nutritivas e, quando se lhes restituir a água, retornarão ao aspecto natural ou mudarão muito pouco. O uso de alimentos desidratados teve um estímulo muito grande na Segunda Guerra Mundial. A Universidade da Califórnia foi o principal centro pesquisador de frutas e hortaliças desidratadas (GAVA, 2002).

A secagem por atomização, pulverização ou *spray-drying* é um processo contínuo onde um líquido ou pasta é transformado em produto seco, caracterizando-se pelo tempo de secagem relativamente curto. A pulverização do líquido na câmara de secagem poderá ser feita por discos ou bicos atomizadores. No primeiro caso (sistema centrífugo), um disco ranhurado, girando a alta velocidade, pulveriza o líquido e projeta as gotículas de maneira radial ao fluxo de ar quente que entra pelo dispersor de ar situado na parte superior da câmara. A atomização através de bicos especiais poderá ser ocasionada por bombas de alta pressão ou por sistema pneumático (ar comprimido) (FELLOWS, 2006).

É muito importante nas características do produto final a maneira com que o ar quente entra em contato com o líquido atomizado. O fluxo de ar quente é normalmente introduzido na câmara através do dispersor de ar localizado na parte superior da mesma. O líquido pulverizado poderá ter o mesmo fluxo de ar quente (fluxo paralelo), ocorrendo,

neste caso, um contato da partícula com o ar de temperatura cada vez mais baixa. É um sistema utilizado para produtos mais sensíveis ao calor (GAVA, 2002).

No fluxo contra-corrente, o líquido é pulverizado numa posição oposta à entrada de ar quente, ocorrendo o contato da partícula mais seca com o ar mais quente. Tal sistema utiliza eficientemente o calor, sendo indicado para produtos não sensíveis ao calor.

A separação do produto seco do ar de secagem tem importância sobre as características finais do pó devido ao manuseio mecânico usado nessa separação. Excessivo manuseio mecânico resulta num pó mais fino.

3.4 Microencapsulamento

Define-se o microencapsulamento como o empacotamento de materiais, sólidos, líquidos ou gasosos em minúsculas cápsulas, as quais podem liberar seu conteúdo a taxas controladas em condições específicas (KRISHNAN *et al.*, 2005, citado por SOUZA *et al.*, 2008).

O microencapsulamento pode prover uma barreira física entre o componente essencial e outros componentes do produto. Especificamente, na área de alimentos, o microencapsulamento é uma técnica na qual pequenas gotas, partículas sólidas ou compostos gasosos são aprisionados dentro de filmes finos de uma fase alimentícia de um agente encapsulante (GHARSALLAOUI, 2007).

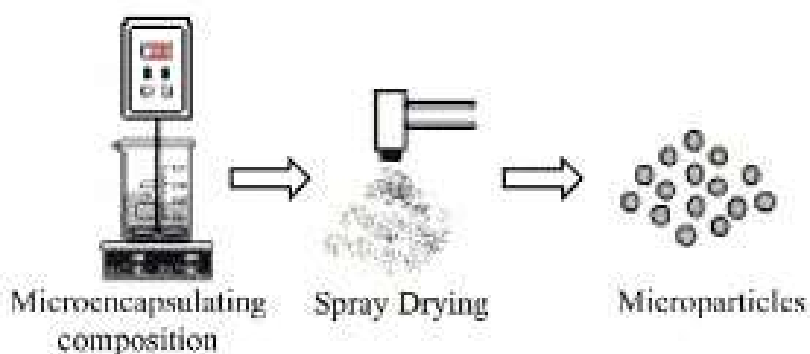


Figura 3.5 Esquema de secagem por spray. (Fonte: Rattes, 2007)

O microencapsulamento é uma operação unitária no qual um produto líquido é atomizado por um fluxo de gás quente e instantaneamente se obtém um pó. O gás geralmente usado é ar ou mais raramente um gás inerte como nitrogênio. O líquido da

alimentação pode ser uma solução, suspensão ou emulsão. O *spray-dryer* produz, dependendo do material inicial da alimentação e das condições de processo, um pó muito fino (10-50 μm) ou partículas de grande tamanho (2000-3000 μm) (KRISHNAN, 2005).

As propriedades físico-químicas do pó produzido por atomização dependem de algumas variáveis de processo, como do líquido de alimentação (viscosidade, tamanho de partícula, vazão de entrada) e do ar utilizado na secagem (temperatura, pressão, umidade), assim como do tipo de atomizador (TONON *et al.*, 2008) e do encapsulante utilizado.

Agentes encapsulantes foram usados para proteger a vitamina C em Camu-camu (DIB TAXI *et al.*, 2003), para aumentar a estabilidade do pó de acerola (RIGHETTO e NETTO, 2005, citado por TONON, 2008) e para proteger as antocianinas no açaí em pó (TONON, 2008).

Gharsallaoui *et al.* (2007) dividiram o processo de microencapsulamento em 4 fases: atomização, contato gotícula-ar quente, evaporação da água e separação produto seco-ar úmido, conforme são detalhadas abaixo :

3.4.1 Atomização

Pode-se usar pressão ou energia centrífuga para a atomização do líquido. O objetivo dessa fase é criar a máxima superfície para transferência de calor entre o ar seco e o líquido, otimizando as transferências de calor e de massa. Quanto mais energia é provida, mais finas são as partículas formadas. Para uma mesma energia fornecida, o tamanho da partícula aumenta com o aumento da taxa de alimentação.

3.4.2 Contato gotículas-ar quente

Este contato ocorre durante a atomização e inicia a fase de secagem. De acordo com a localização do atomizador em relação ao bico de ar quente, pode-se distinguir secagem co-corrente e contracorrente. Na secagem co-corrente o líquido é espalhado na mesma direção que o fluxo de ar quente, e a temperatura de entrada de ar é normalmente de 150-200°C. A evaporação ocorre instantaneamente e o pó seco é exposto a temperaturas moderadas (50-80°C), o que limita degradação térmica. Já na secagem contra-corrente o líquido é espalhado em direção contrária ao fluxo de ar quente e com isso o produto seco é

exposto a maiores temperaturas, o que limita a aplicação desse processo para produtos termossensíveis.

3.4.3 Evaporação da água

No momento do contato ar quente-gotículas, balanços de energia e pressão parcial de vapor são estabelecidas entre as fases líquida e gasosa. Então, a transferência de calor é realizada do ar em direção ao produto como resultado de uma diferença de temperatura, enquanto a transferência de água ocorre na direção oposta devido à diferença de pressão de vapor.

3.4.4 Separação produto seco-ar úmido

Esta separação normalmente é feita por um ciclone colocado fora do secador, o que reduz a perda de produto na atmosfera: a maioria das partículas densas é recuperada na base da câmara de secagem enquanto as finas passam pelo ciclone para serem separadas do ar úmido. Além de ciclones, secadores em spray são comumente equipados com filtros, chamados “bag houses” que são usados para impedir que o pó mais fino entre em contato com a bomba.

As quatro fases da atomização interferem nas características do pó final. Assim, a maneira de atomizar e as propriedades do líquido atomizado influenciam o tamanho da partícula sólida, sua densidade, aparência e umidade. Já o contato líquido-ar quente e a evaporação influenciam a densidade do pó, aparência, umidade, retenção de aroma e sabor. E a técnica de separação do pó do ar de secagem influencia a granulometria do produto desidratado (GAVA, 2002).

3.5 Transferência de massa e de energia

Antes que a água evapore, podendo ser eliminada por correntes de ar, deve atingir a superfície do alimento. A água que inicialmente não se encontra na superfície do alimento move-se através dele por diferentes mecanismos, sendo eles movimento capilar ou por forças capilares, difusão de líquidos, difusão de gases, difusão nas camadas líquidas

adsorvidas nas interfaces do sólido e movimento devido à retração do sólido (ORDÓNEZ, 2005).

Além do movimento da água líquida, é necessário considerar a retirada do vapor de água liberado. Para isso, é necessário se manter em nível mais baixo possível a pressão parcial de vapor d'água no meio ambiente.

A dessecação com ar é, sem dúvida, a forma de secagem mais utilizada na indústria alimentícia. Nesse método, há transmissão simultânea de calor e massa. A energia é transferida do ar para o alimento, e o vapor d'água migra na direção oposta, do alimento para o ar (ORDÓNEZ, 2005).

O calor necessário para conseguir a evaporação da água dos alimentos pode ser transmitido por condução, convecção ou por radiação, que geralmente se combinam, embora predomine uma delas. Esse calor pode aportar em pressão atmosférica ou sob certo grau de vácuo. Ordóñez (2005) classifica os métodos de desidratação em cinco tipos, considerando-se a forma de transferência de calor e a maneira de proceder:

1) *Dessecação com ar quente* - O alimento entra em contato com ar quente e o calor é transmitido fundamentalmente por convecção.

2) *Dessecação por contato direto com uma superfície quente* - O calor é transmitido ao alimento principalmente por condução.

3) *Dessecação mediante aporte de energia de fonte radiante* - A transmissão de calor que predomina é a radiação.

4) *Dessecação por energia eletromagnética* (calefação por microondas e dielétrica).

5) *Liofilização ou criodesidratação* - A água dos alimentos é congelada e, em seguida, sublimada, utilizando-se qualquer dos mecanismos mencionados anteriormente.

3.6 Atividade de água

A água nos alimentos pode aparecer livre - fracamente ligada ao substrato, permitindo o crescimento de microorganismos e reações químicas e eliminada com facilidade – ou combinada – fortemente ligada ao substrato, mais difícil de ser eliminada, menos susceptível aos microorganismos e a reações químicas. Apenas o conteúdo de água de um alimento não é suficiente para indicar sua estabilidade real (ORDÓNEZ, 2005).

A atividade de água indica a intensidade das forças que unem a água com outros componentes não-aquosos no alimento e, conseqüentemente, a quantidade de água livre.

A facilidade com que um alimento se deteriora está ligada à atividade de água, pois não é o conteúdo de água de um alimento, mas o estado no qual a água se encontra nos alimentos que é importante na atuação dos microorganismos. Além do crescimento de microrganismos, muitas reações químicas que comprometem a qualidade dos alimentos possuem influência na atividade de água (LABUZA, 1985), como escurecimento enzimático ou oxidação de vários compostos.

Quando um material biológico é exposto a certa umidade, ele perde ou ganha água para ajustar sua própria umidade a uma condição de equilíbrio com o ambiente. Isto ocorre quando a pressão de vapor d'água na superfície do material se iguala à pressão de vapor d'água do ar que o envolve. (TREYBAL, 1981, citado por SOUZA *et al.*, 2008). As informações acerca da umidade de equilíbrio são importantes no processamento e armazenamento de alimentos. No processo de secagem, a umidade de equilíbrio é a umidade final que o produto pode atingir se o processo for conduzido num longo período de tempo.

Estuda-se esse fenômeno através das isotermas de adsorção de água, que são representações gráficas da umidade de equilíbrio com diferentes valores de atividade de água (a_w) e temperatura constante (chamadas de curvas de umidade de equilíbrio ou isotermas de adsorção de água). A isoterma de sorção representa o equilíbrio do teor de umidade do material com a umidade relativa do ambiente numa temperatura particular. A característica da isoterma de sorção é única para cada alimento. O equilíbrio do teor de umidade dita a estabilidade física, química e microbiológica dos alimentos, sendo usado também como parâmetro nos modelos de secagem (SOGI *et al.*, 2003; KOCKEL *et al.*, 2002, citados por PINEDO, 2007).

O estudo da atividade de água pode ser feito através da obtenção experimental de isotermas de sorção da água, que são curvas que relacionam a quantidade de água absorvida pelo material biológico e a umidade relativa, a uma dada temperatura. O uso das isotermas de sorção permite verificar o tempo necessário para que o alimento atinja um valor de umidade absorvida que o torne inaceitável, ou ainda permite a determinação do teor ideal de umidade para a conservação, minimizando problema de crescimento de microrganismos durante a armazenagem e comercialização do produto.

Para determinação experimental de umidade de equilíbrio torna-se necessário um ambiente com umidade relativa controlada. O método de controle de umidade relativa mais usado é o que utiliza compostos químicos, tais como soluções aquosas de ácido sulfúrico e soluções de sais. Cada solução apresenta um grau de ajuste de umidade relativa que pode ser obtido variando-se a concentração das soluções a diferentes temperaturas.

3.7 Psicrometria

A proporção de vapor d'água no ar oscila entre 0 e 4%. Para simplificar os cálculos, considera-se que o ar atmosférico é formado por duas partes: ar seco e vapor d'água. A união dos dois resulta no ar úmido.

Segundo Ordóñez (2005), entre as variáveis psicrométricas de maior interesse para a operação de secagem, encontram-se:

- *Umidade absoluta ou específica* (U_a) – É definida pela massa de água em forma de vapor por unidade de peso de ar seco, embora também se possa considerar a relação das frações molares ou das pressões parciais de vapor.
- *Umidade de saturação* (U_s) – É a umidade absoluta do ar saturado de vapor em determinada pressão e temperatura. Quando se mantém constante a temperatura do ar e adiciona-se umidade, chega um momento em que o ar não admite mais vapor d'água. Nesse ponto, o ar apresenta a máxima umidade absoluta, e diz-se que está saturado de vapor d'água em determinada temperatura e pressão. Nestas condições, quando se continua acrescentando vapor d'água, este se condensa. Na saturação, a pressão de vapor de água (P_v) é igual à pressão de vapor em estado líquido (P_w) à mesma temperatura e à mesma pressão.
- *Umidade relativa* (UR) – é a relação entre umidade absoluta e umidade de saturação em certa temperatura, normalmente medida em porcentagem. Essa variável é o indicativo do grau relativo de saturação em vapor d'água do ar e, portanto, a medida da capacidade desse ar de carregar-se de vapor d'água durante a desidratação. Durante a secagem por ar, a velocidade da secagem depende da umidade relativa do ar.

- *Temperatura de bulbo úmido* (T_w) – É a temperatura indicada por um termômetro cujo bulbo está envolvido em material embebido em água, colocado em uma corrente de ar. Essa temperatura é inferior à indicada pelo termômetro seco devido ao fato de que a evaporação provoca diminuição da temperatura ao provocar transferência de calor do ar para a água. A magnitude da diferença entre a temperatura de bulbo seco e de bulbo úmido depende da temperatura do ar e da umidade absoluta. Portanto, pode-se considerar a T_w como a temperatura de uma superfície úmida em equilíbrio com o ar, com uma U_a e em temperaturas determinadas.

O diagrama psicrométrico (diagrama entálpico do ar úmido – Anexo 2) relaciona diferentes variáveis psicrométricas e permite, fixando-se duas delas, conhecer rapidamente várias características do ar úmido. Este diagrama pode ser utilizado para os cálculos de secagem.

Na maioria dos secadores de ar quente, a secagem ocorre de forma aproximadamente adiabática, sem intercâmbio de calor com o exterior do sistema alimento-ar de secagem. Em qualquer momento da secagem, o calor necessário para evaporar a água do alimento é proporcionado integralmente pela redução do calor sensível do ar de secagem (ORDÓNEZ, 2005).

3.8 Isotermas de sorção

O nível de umidade que o produto alcança, quando deixado em contato com uma determinada condição atmosférica por um longo período de tempo, é definido como umidade de equilíbrio. Ela é representada através de isotermas, que consistem em curvas que descrevem a relação entre o conteúdo de umidade dos alimentos e a atividade de água (a_w) para temperatura e pressão constantes (DEYRMENDJIAN, 2001; PARK *et al.*, 2001)

O termo atividade de água foi criado para denominar a água disponível para crescimento microbiano e reações que possam deteriorar o alimento.

A atividade de água é um parâmetro importante que pode ser utilizado na previsão da estabilidade de alimentos em relação ao tempo (vida de prateleira), de segurança alimentar, em relação a microorganismos e a taxas de reações de oxidação. Em condições

brandas (baixas pressões e temperaturas) a atividade de água pode ser definida pela relação entre a pressão parcial da água no produto (P_w) e a pressão de vapor da água pura (P_o) (Eq.1). Quando um alimento é exposto a uma determinada umidade, ele se modifica ajustando sua própria umidade a uma condição de equilíbrio com o ambiente. Este ajuste ocorre quando a pressão de vapor da água no material se iguala à pressão parcial da água no vapor (IGLESIAS e CHIRIFE, 1978).

$$a_w = \frac{P_w}{P_o} \quad \{\text{Eq. 3.1}\}$$

As isotermas de sorção de água apresentam ampla utilização em tecnologia de alimentos, indo desde cálculos do tempo de secagem, modelagem das variações que ocorrem durante a estocagem até a predição do tempo de vida útil de um alimento (FELLOWS, 2006). Por exemplo, permitem avaliar a estabilidade dos alimentos; prever a a_w de misturas de diversos ingredientes; estimar o tempo máximo de armazenamento do produto em embalagens com permeabilidade ao vapor de água conhecida, em função da quantidade de água adsorvida; melhorar os processos de conservação fundamentados na redução da quantidade de água, ou mesmo determinar a temperatura ideal de armazenamento de produtos congelados, estabelecendo uma relação entre estes e a a_w (ORDÓNEZ, 2005).

As isotermas de sorção revelam informações sobre mecanismos de sorção e interações do sólido com o vapor d'água na atmosfera, durante o armazenamento e após a embalagem. São muito úteis no projeto e otimização de operações unitárias como preservação, secagem, mistura, armazenamento e empacotamento.

A maioria das isotermas de sorção de água dos alimentos apresenta forma sigmóide, com pequenas variações conforme a estrutura física, composição química, temperatura e capacidade de retenção de água do alimento.

Segundo Ordóñez (2005), nas isotermas de sorção de água, podem-se distinguir três zonas pouco delimitadas que indicam a forma como a água está ligada aos alimentos (Figura 3.4). São elas:

- Zona a – É a água mais fortemente ligada e menos móvel. Corresponde à água da camada molecular fixa aos grupos polares de certos compostos, especialmente NH_3^+ e COO^- das proteínas e grupos OH^- dos amidos, assim como água de

cristalização de açúcares e sais. É muito difícil de extrair, não é congelável e não se encontra disponível para atuar como solvente ou reativo. Constitui quantidade muito pequena da água total do alimento e corresponde a uma a_w inferior a 0,2 até 0,3. O limite entre as zonas A e B é chamado monocamada BET.

- Zona b – Compreende a água correspondente às camadas de hidratação dos constituintes solúveis, isto é, proteínas, sais, açúcares, etc. Está ligada por pontes de hidrogênio e interações dipolo-dipolo ou retida fisicamente em microcapilares de diâmetro inferior a $1\mu\text{m}$. O ponto de congelamento e a capacidade solvente encontram-se muito reduzidos. A a_w está entre 0,20-0,30 e 0,80, aproximadamente.
- Zona c – Representa a maior parte da água dos tecidos frescos. É a água menos ligada e mais móvel dos alimentos, embora o ponto de congelamento esteja um pouco reduzido. Encontra-se retida fisicamente em membranas, capilares (diâmetro superior a $1\mu\text{m}$), géis, etc., e por isso pode ser facilmente eliminada por diversos procedimentos. Sua retenção é determinada pelo pH e pelas forças iônicas. É a responsável pela alteração dos alimentos, já que está disponível para o desenvolvimento de microorganismos e para as reações químicas. Equivale a a_w de 0,80 a 0,99.

As isotermas de equilíbrio podem ser determinadas por dois métodos: gravimétrico e higrométrico. No método higrométrico o conteúdo de umidade do material é mantido constante durante a medida até que o ar circundante atinja um valor constante, de equilíbrio. A atividade de água do ar é medida via higrômetro ou manômetro. Já no método gravimétrico a temperatura do ar e a atividade de água são mantidas constantes durante a medida até que o conteúdo de umidade da amostra atinja o valor de equilíbrio. O ar pode ser submetido à circulação forçada (método dinâmico) ou estar estagnado (método estático) (LABUZA, KANAN & CHEN, 1985).

As equações de isotermas de equilíbrio são expressões matemáticas das curvas de sorção de umidade. Estas equações estimam a quantidade de água adsorvida ou desorvida por um determinado produto, para temperatura (T) e pressão (P) fixos. Existem inúmeras equações na literatura para representar as curvas experimentais de sorção de alimentos. Segundo Mathlouthi & Rogé (2003) os modelos de BET (Brunauer, Emmet & Teller) e

GAB (Guggenheim-Anderson-De Boer) são os mais indicados para os materiais nos quais a adsorção ocorre em múltiplas camadas.

O modelo de BET (Eq. 3.2) permite calcular a capacidade de sorção na monocamada e considera as seguintes simplificações:

- a adsorção ocorre em multicamadas independentes e imóveis;
- o equilíbrio é alcançado para cada camada;
- exceto a primeira camada, a adsorção é aproximadamente igual à condensação.

$$U_e = \frac{U_m C_{BET} * a_w}{1 + C_{BET} a_w} + \frac{U_m a_w}{1 - a_w} \quad \{\text{Eq. 3.2}\}$$

O modelo de GAB constitui-se em uma extensão do modelo BET, sendo introduzida por Van Der Berg (1984) para padronizar a descrição e comparação entre diferentes materiais. A Equação de GAB é uma equação de três parâmetros (Eq. 3.3).

$$U_e = \frac{U_m * C_{GAB} * k * a_w}{(1 - k * C_{GAB} * a_w) * (1 - k * a_w + C_{GAB} * k * a_w)} \quad \{\text{Eq. 3.3}\}$$

onde:

U_e – umidade de equilíbrio

a_w – atividade de água

U_m – umidade na monocamada molecular

C_{BET} ; C_{GAB} ; k - parâmetros

As constantes de adsorção do modelo de GAB estão relacionadas com as interações energéticas entre moléculas da monocamada.

As propriedades termodinâmicas dos alimentos relacionam a concentração de água no alimento com sua pressão parcial, a qual é crucial na análise de fenômenos de transporte de massa e calor durante a desidratação. Essas determinam o ponto final no qual o alimento deve ser desidratado para alcançar estabilidade com teor de umidade ótimo e mínima quantidade de energia requerida para remover determinada quantidade de água do alimento. Essas propriedades também fornecem uma idéia da microestrutura associada com a interface alimento-água. A sorção de umidade da atmosfera pelo produto e do produto pela atmosfera ocorrerá durante o armazenamento e envase em embalagens (AL-MUHTASEB, MCMINN e MAGEE, 2004, citado por SOUZA, 2008).

Capítulo IV: MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho foi realizado na Planta Piloto da Embrapa Agroindústria de Alimentos e no Laboratório de Processamento de Matérias Primas Vegetais - LADEQ/ Escola de Química na Universidade Federal do Rio de Janeiro.

4.1 Matéria Prima

Foi utilizada polpa de camu-camu, produzida a partir dos frutos do cultivar *Myrciaria dúbia* H. B. K. (McVough). A polpa foi adquirida diretamente de uma empresa produtora da cidade de Castanhal - PA, e mantida congelada até o momento do processamento.

Como encapsulantes foram utilizados Maltodextrina em pó da marca Cromaline e Goma Arábica em pó da marca Proquimios.

4.2 Processamento por spray dryer

As etapas principais etapas do processo estão resumidas no diagrama de blocos da Figura 4.1

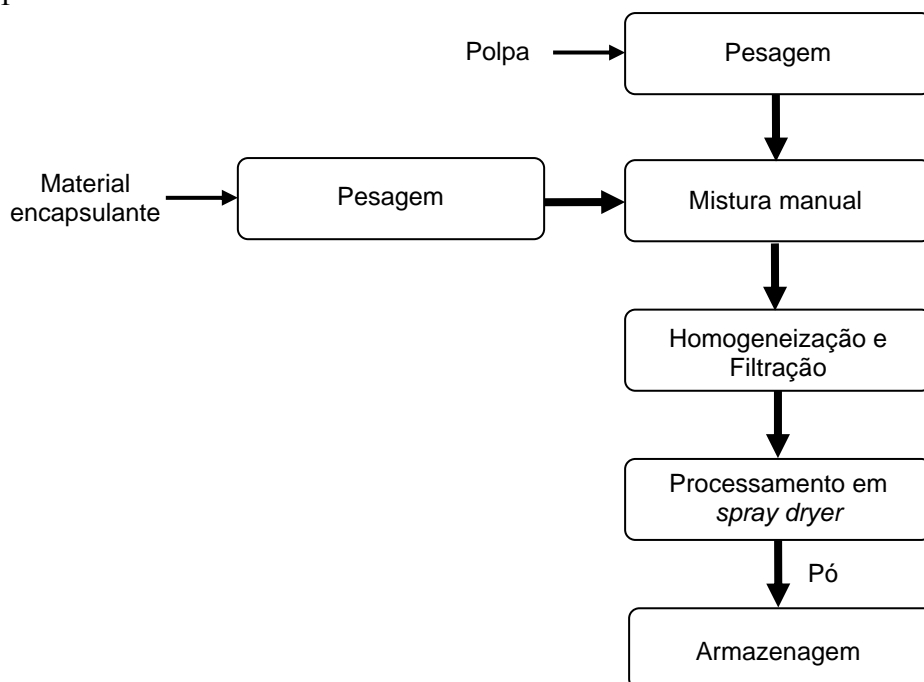


Figura 4.1 Diagrama de blocos do processo de secagem por spray-dryer

Os experimentos, realizados em duplicata, foram conduzidos em mini *spray dryer* modelo Büchi 190, com fluxo paralelo. O descongelamento da polpa foi realizado em imersão em bacia de água à temperatura ambiente, até descongelamento total. O material encapsulante maltodextrina (MD) ou goma arábica (GA), ambos na concentração de 15%, foi adicionado à polpa de camu-camu e em seguida misturado em liquidificador para homogeneização. A seguir a mistura foi filtrada através de uma tela de abertura igual a 0,4 mm para separar as partículas maiores e evitar o entupimento do bico do spray. Essa mistura foi levada ao equipamento para secagem. As demais condições de operação no *spray dryer* foram mantidas praticamente iguais.

Após secagem por atomização, as amostras da polpa de camu-camu em pó microencapsuladas foram conservadas em sachês metalizados, selados a vácuo e armazenados em freezer até o momento de uso para as análises. Na tabela 4.1 estão resumidas as condições de operação, selecionadas de acordo com recomendações do fabricante (BÜCHI, 1990).

Tabela 4.1 Dados operacionais do mini *spray-dryer*

	15% de GA	15% de MD
Pressão de ar comprimido	120 lb/in ²	120 lb/in ²
Pressão da bomba	-50 mbar	-50 mbar
Vazão de ar	700 L/h	700 L/h
Vazão de entrada de produto	18,4 mL/min	14,1 mL/min
Temperatura de entrada	180°C ±5°C	180°C ± 5°C
Temperatura de saída*	90°C ±5°C	91°C ± 5°C
Tempo de processo	22,4 min	22,1 min
Massa de pó produzida	19,1 g ± 0,6g	13,3 g ± 2,0 g
Massa de polpa utilizada	408,8 g ± 8,8g	321,6 g ± 20,2 g

GA - goma arábica; MD - maltodextrina

A temperatura de saída é um parâmetro de controle de qualidade e deve ser superior a 85°C para evitar condensação do vapor no produto desidratado. Em geral, a variação entre as temperaturas de entrada e saída mantém-se em cerca de 100°C.

4.3 Análises

Na polpa e no pó foram realizadas análises de sólidos totais, atividade antioxidante, compostos fenólicos totais, vitamina C, acidez e pH. A análise de sólidos solúveis (Brix) foi realizada apenas na polpa e a granulometria foi realizada apenas no pó. Todas análises foram feitas de acordo com métodos padrões da AOAC (AOAC, 1984), descritos em POP's (Procedimento Operacional Padrão) da Embrapa. Para realização da maioria das análises no pó microencapsulado, primeiramente o mesmo foi diluído em água, e os procedimentos seguiram-se da mesma forma que com a polpa, com exceção para a análise de sólidos totais, onde utilizou-se a amostra em seu estado original.

Para a análise de sólidos totais, as amostras líquidas foram colocadas em cadinhos previamente secos contendo cerca de um centímetro de areia lavada seca. Os cadinhos com a amostra foram mantidos em uma estufa a vácuo a 65°C por uma hora, esfriados, dessecados e pesados. O procedimento foi repetido até peso constante.

A atividade antioxidante foi determinada pelo método Trolox equivalente (TEAC). Este método consiste em uma extração inicial das amostras com metanol 50% em repouso por uma hora, quando a solução é centrifugada. O precipitado segue para uma segunda extração com acetona 70% em repouso também por uma hora, e a solução é novamente centrifugada. Ambos os sobrenadantes são juntados e avolumados a 25 mL, e ficam armazenados em freezer até o dia seguinte. No dia seguinte é feita uma reação dos extratos com o reagente ABTS+, previamente ativado, e é realizada a leitura em espectrofotômetro a 734 nm após exatos 6 minutos de reação. O ABTS reage com os antioxidantes presentes no extrato, perdendo a cor inicialmente escura. Portanto, quanto menor a leitura no espectrofotômetro, maior a concentração de antioxidantes no extrato. A concentração da amostra é calculada através da equação de ajuste de uma curva padrão de Trolox.

Os compostos fenólicos, em leitura em espectrofotômetro, aparecem em conjunto com açúcares redutores e vitamina C. Para descontar essas interferências, os extratos foram filtrados em um cartucho Oasis HLB, que retém os compostos fenólicos. Para esta análise foi feita uma extração prévia da amostra com acetona 70% sob agitação magnética por 30 minutos. A solução foi filtrada em papel de filtro quantitativo e uma alíquota de 1,0 mL do filtrado foi diluída 10 vezes reduzindo a concentração de acetona a 7%. Este extrato é denominado de Extrato Bruto (EB). Em seguida, 2,0 ml do EB são passados pelos

cartuchos, previamente ativados com metanol, e em seguida submetidos a 3 lavagens consecutivas com 2,0 mL de água. O filtrado é denominado de Extrato Lavado (EL). Cerca de 3ml do EL é então colocado em tubos com tampa e levados a banho-maria a 85°C por 2 horas, obtendo-se então o Extrato Lavado Aquecido (ELA). A reação do extrato foi conduzida por 2 min em tubos de ensaio de 0,5 mL contendo 2,5 ml de reagente de Follin Ciocalteau 10%, sendo em seguida adicionados 2,0 mL de carbonato de sódio 7,5%. O branco foi preparado apenas com a acetona 7%. Os tubos foram imediatamente agitados em vórtex e levados a banho-maria a 50°C até o tempo de reação somar 15 min. Finalmente, foram retirados e colocados em banho de gelo para terminar a reação. Os extratos foram então lidos em espectrofotômetro a 760 nm. A concentração da amostra é calculada através da equação de ajuste de uma curva padrão de ácido gálico.

A acidez foi medida em equivalentes de ácido cítrico. A acidez e o pH foram lidos no Titulador Automático *Metrohm 785 DMP Titrino*. As amostras foram pesadas e diluídas com água isenta de CO₂. Após calibração, o aparelho fornece automaticamente a concentração total de ácido cítrico e a acidez total.

O teor de sólidos solúveis foi lido diretamente em refratômetro, apenas para amostras líquidas. O aparelho foi calibrado com água (0° Brix). A polpa da fruta filtrada através de algodão foi colocada na área de leitura. Por refração de uma luz incidente, o aparelho retorna um valor de leitura em Brix.

A análise granulométrica do pó foi determinada em peneiras vibratórias. Foram utilizadas 6 peneiras com abertura de 28, 32, 48, 100, 200 e 270 *mesh*. As peneiras foram dispostas em ordem decrescente de abertura. A amostra foi pesada e transferida para a primeira peneira. A seguir o conjunto foi levado para o equipamento vibrador, onde permaneceu por cerca de 15 minutos. A massa em cada peneira foi cuidadosamente pesada e usada na construção da curva de distribuição de tamanhos.

4.4 Comparação dos resultados

Como o produto em pó é constituído por polpa de camu-camu e material de parede em proporções desconhecidas (não foi realizada análise para obter tal informação), não é possível obter uma estimativa de perdas no processo simplesmente com base no teor de

sólidos totais. Para contornar isso, utilizou-se uma comparação entre o aumento nos teores de vitamina C, compostos fenólicos e atividade antioxidante entre polpa e pó microencapsulado.

4.5 Determinação das isotermas de sorção do camu-camu em pó

As isotermas foram determinadas pelo método gravimétrico estático, utilizando soluções supersaturadas com atividades de água (a_w) controladas e variando de 0,093 a 1,0 (Tabela 4.2). As soluções foram preparadas em dessecadores como mostrados na Figura 4.2. As amostras, contendo aproximadamente 1 g de camu-camu em pó, foram dispostas em suporte plástico previamente pesado, transferidos para os dessecadores mantidos hermeticamente fechados. A variação de massa de cada amostra foi acompanhada por pesagens em balança analítica de quatro casas decimais em intervalos de 1 hora, durante 8 horas e, a seguir, em intervalos de 24 horas até que as mesmas atingissem a umidade de equilíbrio, ou seja, quando as variações de massa entre duas pesagens sucessivas eram inferiores a 0,001g. A seguir, as amostras foram transferidas para vidros de relógios tarados e levadas à estufa a uma temperatura de 60°C até peso constante. Todos os experimentos foram realizados em triplicatas a 25 ± 1 °C.

Tabela 4.2 Atividade a 25°C das soluções salinas supersaturadas

Solução	A_w (25°C)
LiCl	0.113
MgCl ₂	0.328
K ₂ CO ₃	0.432
KI	0.689
NaCl	0.743
KCl	0.843
BaCl ₂	0.903
Água destilada	1.000

Fonte: STOLOFF, 1978

A umidade de equilíbrio (U_{eq}) foi determinada pela razão entre a massa de água na amostra, no equilíbrio, e a massa inicial da amostra (Eq 4.1). As isotermas foram

representadas em coordenadas cartesianas onde no eixo X representa-se a atividade de água a 25°C e no eixo Y a umidade de equilíbrio em base seca.

$$U_{eq} = \frac{m_{\text{água}}}{m_{\text{Amostra-úmida}}} \quad \{\text{Eq. 4.1}\}$$

Foto: SILVA, N.K.



Figura 4.2 Experimentos de sorção do camu-camu em pó pelo método estático gravimétrico. T=25 ± 1°C.

4.6 Análise estatística

Os resultados em triplicata das análises, assim como os resultados dos balanços de massa e energia foram analisados estatisticamente através do Teste de Fischer, utilizando-se o software *Statistica v. 7.0*.

Os dados das isotermas de sorção de água, separados por encapsulantes, foram utilizados para construção das curvas no software *Statistica v. 7.0* utilizando regressão não linear com ajuste dos mínimos quadrados.

Capítulo V: RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Análises químicas e físicas

Como se pode observar na Tabela 5.1, o pH do produto (3,47 a 3,61) foi ligeiramente superior ao pH da polpa (3,04 a 3,30), estando estes valores muito próximos do valor reportado na literatura, da ordem de 3,05 (ANDRADE *et al.*, 1992, citado por Dib Taxi, 2001).

Como esperado, a acidez do produto, expressa em equivalentes de ácido cítrico, foi superior (13,83 a 14,11 g/100g) a acidez da polpa (2,84 a 2,87 g/100g) (Tabela 5.2). Os valores encontrados foram similares aos dados reportados por Andrade *et al.* (1992) citado por Dib Taxi (2001) para a polpa de camu-camu, de 2,84 g/100g e por Pinedo (2007) de 2,74 g/100g e superiores aos obtidos por Dib Taxi (2001) de 1,98g/100g de polpa. De acordo com teste de Fisher ($p < 0,05$), não foi registrada uma diferença significativa na acidez do produto quando se variou o encapsulante.

O valor médio do teor de sólidos solúveis da polpa de camu-camu foi de 5,0° Brix, similar ao 5,5° Brix encontrado por Dib Taxi (2001) e menor que 7,75° Brix encontrado por Andrade *et al.* (1992) citado por Dib Taxi (2001).

Tabela 5.1 Valores de pH da polpa de camu-camu e do produto em pó

Amostra	GA		MD	
	Média	DP	Média	DP
Polpa integral	3,30 ^a	0,03	3,04 ^a	0,30
Produto seco	3,61 ^b	0,12	3,47 ^b	0,45

GA – goma arábica; MD – maltodextrina. DP - desvio padrão
Para letras iguais não há diferença estatística ao nível de 0,05 de significância

Tabela 5.2 Valores de acidez da polpa de camu-camu e do produto em pó

Amostra	GA				MD			
	Polpa		Pó		Polpa		Pó	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
Acidez Total (g/100g)	40,53 ^a	0,65	201,62 ^b	0,91	40,90 ^a	1,24	197,38 ^b	2,68
Acidez em Ác. Cítrico (g/100g)	2,84 ^c	0,05	14,11 ^d	0,07	2,87 ^c	0,09	13,83 ^d	0,18

GA – goma arábica; MD – maltodextrina; DP - desvio padrão
Para letras iguais não há diferença estatística ao nível de 0,05 de significância

O teor de sólidos totais na polpa variou de 5,0 a 6,7%, enquanto no produto este valor foi superior a 96%, indicando que houve uma perda de água da ordem de 96%, após secagem da amostra (Tabela 5.3). Os dados da literatura apontam um teor de sólidos totais um pouco maior, de 8,8% (ANDRADE *et al.*, 1992, citado por Dib Taxi, 2001; e DIB TAXI, 2001). Estas diferenças são geralmente encontradas em produtos de origem vegetal cuja composição centesimal é dependente de vários fatores: condições de plantio, região, clima e grau de maturação.

Tabela 5.3 Teores de sólidos totais da polpa de camu-camu e umidade do produto em pó

	GA				MD			
	Polpa		Pó		Polpa		Pó	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
Sólidos Totais (%)	5,55 ^a	0,78	97,20 ^b	0,41	6,35 ^a	0,49	96,79 ^b	0,51
Umidade (%)	94,45 ^c	0,78	2,80 ^d	0,41	93,65 ^c	0,49	3,22 ^d	0,51

GA – goma arábica; MD – maltodextrina; DP - desvio padrão.
Para letras iguais não há diferença estatística ao nível de 0,05 de significância

A partir dos resultados mostrados na Tabela 5.4 pode-se observar um aumento na atividade antioxidante de três a cinco vezes. Os valores aumentaram de 108 a 113 μmol Trolox/g na polpa para 421 a 530 μmol Trolox/g do pó. Jáuregui *et al* (2007), citado por Barreto (2008), investigaram a capacidade antioxidante por Trolox equivalente (TEAC),

de vários produtos, entre eles, o camu camu (*Myrciaria dúbia*), obtendo os valores de 110,52µmol Trolox/g. Barreto *et al.*(2008) encontraram os valores de 93 a 97µmol Trolox/g na polpa de camu-camu e 620 a 664 µmol Trolox/g no suco de camu-camu clarificado concentrado por osmose inversa.

Tabela 5.4 Valores de atividade antioxidante da polpa de camu-camu e do produto em pó

Atividade Antioxidante (µmol Trolox/g amostra)	GA				MD			
	Polpa		Pó		Polpa		Pó	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
	108,7 ^a	8,9	530,2 ^b	21,3	113,7 ^a	45,0	421,6 ^b	37,2

GA – goma arábica; MD – maltodextrina; DP - desvio padrão.

Para letras iguais não há diferença estatística ao nível de 0,05 de significância

O teor de vitamina C na polpa variou entre 1523 a 1603 mg/100g, mais baixo que os encontrados por Andrade *et al.* (1992) citado por Dib Táxi (2002), de 2950,62 mg/100 e Villachica (1996) citado por Dib Taxi (2001), de 2994,0mg/100g, porém equivalentes ao encontrado por Dib Taxi (2001), de 1432,2mg/100g.

A polpa de camu-camu apresentou teores de compostos fenólicos totais de 574 a 671 mg/100g (Tabela 5.5), cerca de 25% menores que o encontrado por Andrade *et al.* (1992) citado por Dib Taxi (2001), de 861,34 mg/100g.

Quando se compara a polpa e o produto em pó, observou-se um aumento de cerca 10 vezes no teor de compostos fenólicos totais, (Tabela 5.5). Um aumento significativo também foi registrado para o teor de vitamina C no produto em pó, que aumentou cerca de 10 vezes com o uso da goma arábica e de 7 vezes com maltodextrina (Tabela 5.6). Estes resultados indicam que a GA foi mais eficiente que a MD quando se trata de preservar o teor de vitamina C. Dib Taxi (2001) observou que em relação ao rendimento de vitamina C o comportamento da maltodextrina e da goma arábica foram semelhantes, mas a goma arábica se mostrou um material de parede mais eficiente na formação de película em torno do material de núcleo.

Tabela 5.5 Valores de compostos fenólicos totais da polpa de camu-camu e do produto em pó

Experimento	GA				MD			
	Polpa		Pó		Polpa		Pó	
Compostos Fenólicos Totais (mg/100g)	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
	671,28 ^a	0,39	6654,44 ^b	596,15	574,52 ^a	30,67	5911,56 ^b	582,82

GA – goma arábica; MD – maltodextrina; DP - desvio padrão.

Para letras iguais não há diferença estatística ao nível de 0,05 de significância

Tabela 5.6 Valores de vitamina C da polpa de camu-camu e do produto em pó

Vitamina C (mg/100g)	GA				MD			
	Polpa		Pó		Polpa		Pó	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
	1603,0 ^a	5,7	15363,2 ^b	226,3	1523,1 ^a	7,1	11258,7 ^c	298,4

GA – goma arábica; MD – maltodextrina; DP -desvio padrão

Para letras iguais não há diferença estatística ao nível de 0,05 de significância

A Tabela 5.7 mostra a relação de concentração de compostos entre o pó e a polpa de camu-camu. Comparando-se esses resultados, observa-se que o aumento no teor da atividade antioxidante (4,9 para GA e 3,7 para MD) foi cerca de metade do aumento obtido nos teores de vitamina C (9,6 e 7,4, respectivamente) e de compostos fenólicos (9,9 e 10,3). Estes resultados indicam que não houve uma alta relação entre vitamina C e compostos fenólicos com a atividade antioxidante, como esperado. Possivelmente algum outro composto que não foi monitorado deve ser o maior responsável pela atividade antioxidante no camu-camu. Tal composto, possivelmente antocianinas, foi mais sensível ao processo, apresentando maior degradação e, portanto, maior perda de atividade antioxidante. Barreto *et al.* (2008) também observaram uma baixa correlação de vitamina C com a atividade antioxidante em suco de camu-camu clarificado.

Tabela 5.7 Relação de concentração de compostos entre o pó e a polpa

		Vitamina C (mg/100g)	Compostos Fenólicos (mg/100g)	Atividade Antioxidante (μ mol Trolox/g amostra)
GA	Polpa	1603,0	671,28	108,7
	Pó	15363,2	6654,44	530,2
	Relação	9,6	9,9	4,9
MD	Polpa	1523,1	574,52	113,7
	Pó	11258,7	5911,56	421,6
	Relação	7,4	10,3	3,7

GA – goma arábica; MD – maltodextrina

5.2. Análise granulométrica

Nas figuras 5.1a e 5.1b estão apresentadas a distribuição granulométrica do pó de camu-camu encapsulado. Verificou-se que as microcápsulas tiveram diâmetro distribuído de forma bimodal, o que indica certa heterogeneidade na produção destas durante a secagem. Os diâmetros apresentaram variação de 0,053 a 0,590 mm, sendo que a maior parcela (64%) se concentrou entre 0,297 e 0,500 mm. O diâmetro médio foi de 0,25 mm. Dib Taxi (2001) observou distribuição unimodal para o camu-camu encapsulado tanto com goma arábica quanto com maltodextrina. Tonon *et al.* (2008) encontraram no açaí microencapsulado com maltodextrina uma distribuição bimodal de partículas variando de 2 a 100 μ m.

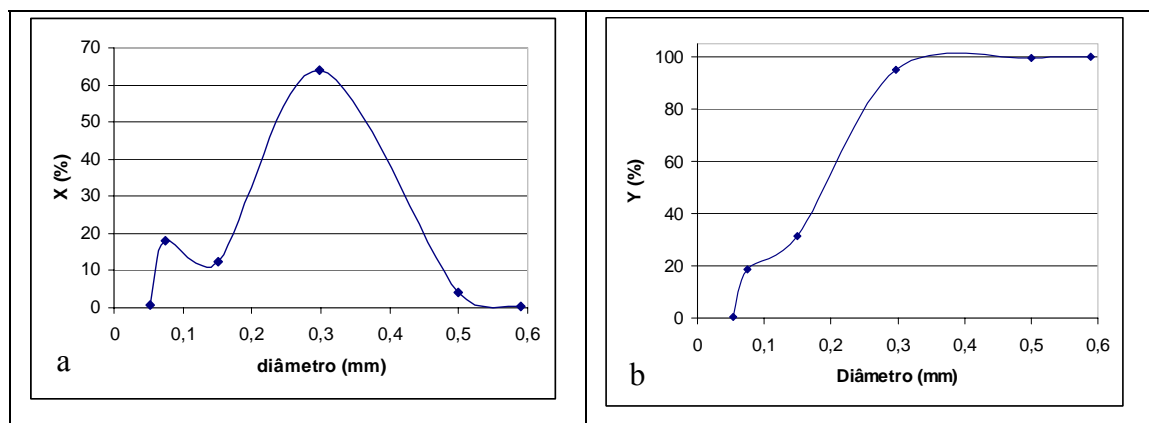


Figura 5.1a Distribuição do tamanho de partículas do pó de camu-camu encapsulado;

Figura 5.1b Curva de distribuição granulométrica acumulada do pó de camu-camu encapsulado.

5.3 Balanços de massa e energia

O rendimento do processo foi estimado pela razão entre a massa de produto e a massa de sólidos na alimentação. Os resultados estão apresentados nas Tabelas 5.8 e 5.9.

Os experimentos que utilizaram goma arábica como material encapsulante, apresentaram rendimento superior a 83% e boa reprodutibilidade. O mesmo não se observou para os experimentos nos quais se utilizou maltodextrina como material encapsulante. Estes resultados, aliados aos resultados dos compostos bioativos, indicam que a goma arábica é mais adequada como encapsulante para camu-camu. Em ambos os processos a perda de água foi superior a 94%.

Tabela 5.8 Balanço de massa de sólidos no processo

	GA		MD	
	Média	DP	Média	DP
Massa sólidos na entrada (g)	22,73	3,18	18,33	3,35
Massa sólidos na saída (g)	18,78	0,65	13,08	3,67
Massa de produto perdida (g)	3,95	2,07	5,25	6,31
Rendimento do processo (%)	83,83 ^a	11,66	71,63 ^b	15,05

GA – goma arábica; MD – maltodextrina; DP - desvio padrão
Para letras iguais não há diferença estatística ao nível de 0,05 de significância

Tabela 5.9 Balanço de massa da água no processo

	GA	MD
Vazão de água no ar de alimentação (kg/h)	0,048	0,048
Vazão de água na alimentação (polpa) (kg/h)	0,950	0,777
Vazão de água no produto (kg/h)	0,0012	0,0013
Vazão de água evaporada (kg/h)	0,949	0,776
Porcentagem de água evaporada	95,1%	94,1%

GA – goma arábica; MD – maltodextrina; DP -desvio padrão

Na Tabela 5.10 estão apresentados os dados do balanço energético do processo. Como esperado os ensaios com GA apresentaram um maior rendimento em massa e como conseqüência um maior consumo de energia 46321 kcal, que aquela consumida para os ensaios com MD, de 45160 kcal.

Tabela 5.10 Balanço de energia na secagem

Resultados		GA	MD
UA ₂	Umidade absoluta do ar após o aquecedor (leitura direta curva psicrométrica)	0,007	0,007
UA ₃	Umidade absoluta do ar após o spray dryer*	0,1460	0,1207
H ₁	Entalpia do ar antes do aquecedor (kcal/h)	-141,9	-145,6
H ₂	Entalpia do ar na saída do aquecedor (kcal/h)*	181,6	185,0
H ₃	Entalpia do ar na saída do spray dryer (kcal/h)*	538,5	446,7
H _P	Entalpia do produto (T = T _{ref})	0	0
H _C	Entalpia da polpa (alimentação) (kcal/kg)*	-54,29	-52,78
Q	Calor fornecido (kcal/h)*	2.209,5 ^a	2.258,0 ^a
Q	Calor fornecido (kcal/g)*	2.425,2 ^b	3.395,5 ^c

*Valores calculados pelas equações apresentadas no capítulo IV.

Para letras iguais não há diferença estatística ao nível de 0,05 de significância

5.4 Isotermas de sorção de água

A amostra do pó de polpa de camu-camu microencapsulado com 15% de goma arábica (GA) apresentou uma adsorção ligeiramente mais rápida que a amostra microencapsulada com maltodextrina (MD), porém ao final de 7h a amostra MD atingiu valores de umidade de 0,58 no ambiente com alta atividade de água ($a_w=1$), enquanto que a amostra GA alcançou apenas 0,48 nas mesmas condições. Ao fim de uma semana a a_w da amostra MD atingiu 0,69 no ambiente com alta atividade de água, e a amostra GA atingiu 0,71 no mesmo ambiente. O cruzamento dessas informações mostra que a goma arábica é um encapsulante mais higroscópico que a maltodextrina. Estes dados podem ser confirmados pelas curvas apresentadas nas Figuras 5.2 e 5.3. Dados reportados na literatura indicam que em baixos valores de a_w o pó produzido a partir da polpa de pitanga

adsorve pequenas quantidades de água e em altos valores de a_w existe um aumento importante na quantidade de água adsorvida. Este tipo de comportamento foi apontado por Telis & Sobral (2001), citados por Vieira (2007) como típico de alimentos rico em açúcares. Sendo o camu-camu uma fruta com poucos açúcares, esse comportamento deve-se principalmente à presença do encapsulante.

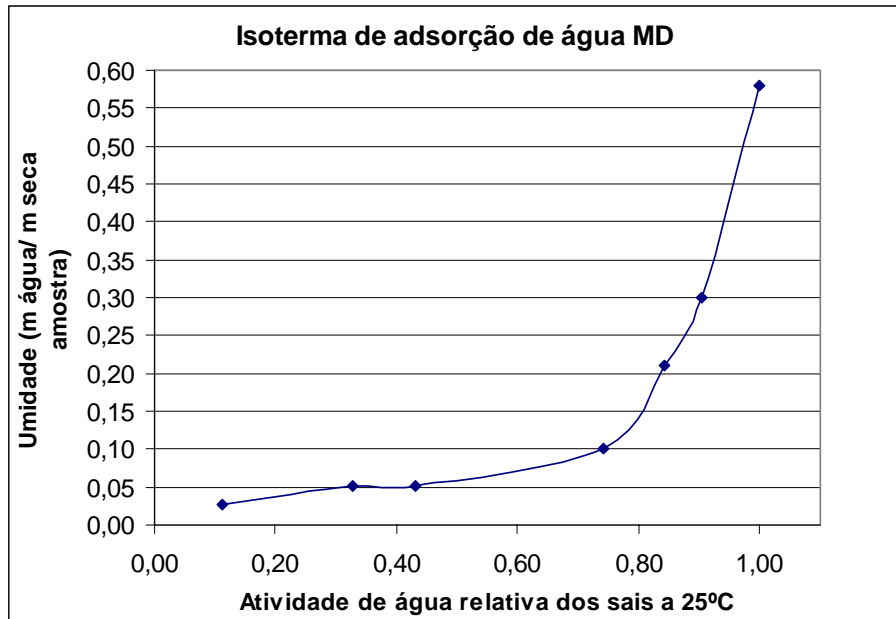


Figura 5.2 Isoterma de adsorção de água de camu-camu em pó encapsulado com 15% de maltodextrina.

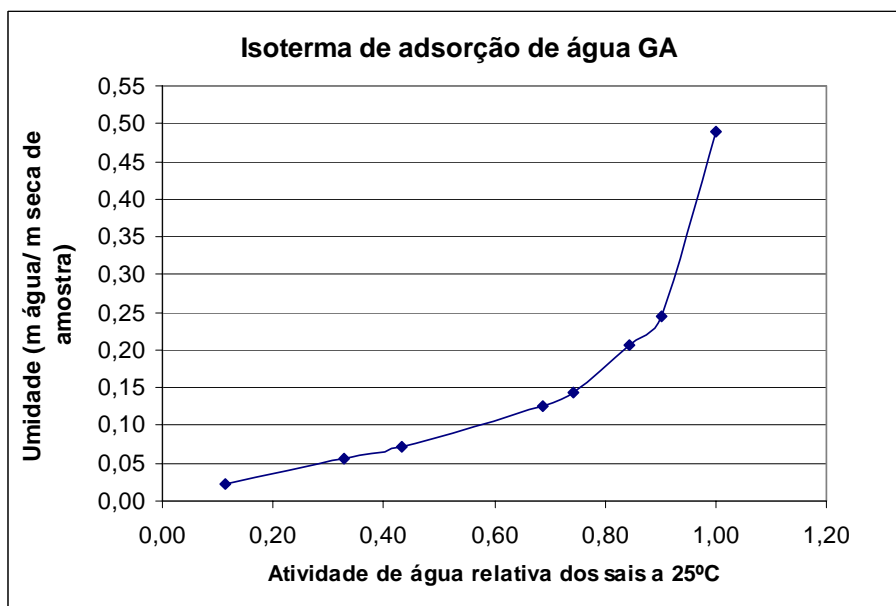


Figura 5.3 Isoterma de adsorção de água de camu-camu em pó encapsulado com 15% de goma arábica.

Nas figuras 5.4 e 5.5 está mostrada a evolução da a_w no pó de camu-camu microencapsulado ao longo de 1 semana. Pode-se observar a tendência de maior higroscopicidade por parte da goma arábica, mais perceptível em a_w mais elevadas. Esse comportamento era de se esperar, pois é sabido que gomas possuem caráter altamente hidrofílico sendo, por esta característica, utilizadas na indústria como espessante.

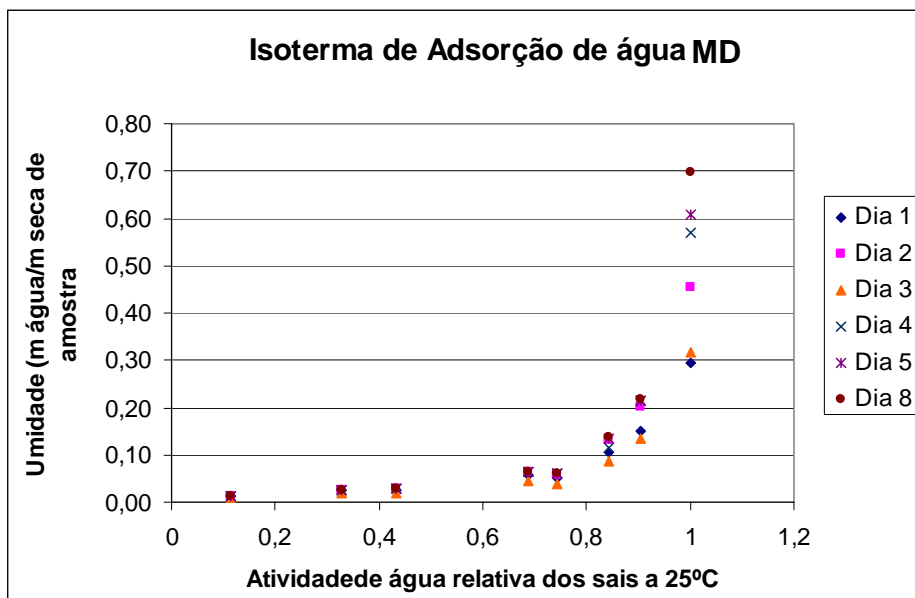


Figura 5.4 Isoterma de adsorção de água de camu-camu em pó encapsulado com 15% de maltodextrina: após 1 semana

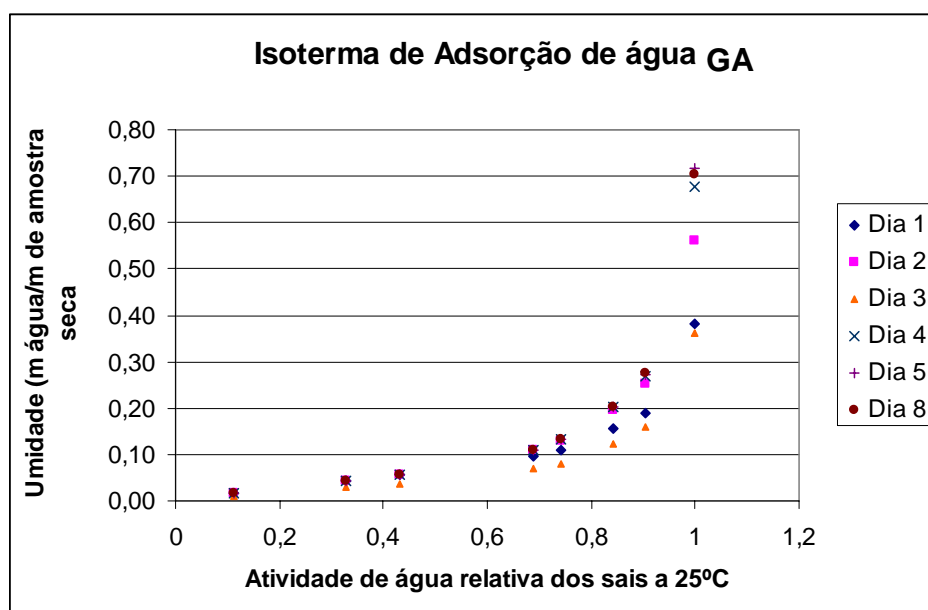


Figura 5.5 Isoterma de adsorção de água de camu-camu em pó encapsulado com 15% de goma arábica: após 1 semana

5.5 Modelos matemáticos

Nas Figuras 5.6 e 5.7 estão apresentados curvas de sorção típicas para partículas amorfas (isotermas do tipo II) ajustadas pelo modelo de BET para as duas amostras analisadas. O modelo de BET se ajustou melhor aos dados de isotermas de sorção de água do pó do camu-camu microencapsulado que o modelo de GAB (o coeficiente de regressão e a variância explicada do ajuste foi usado como critério). A umidade na monocamada foi menor para o camu-camu em pó encapsulado com maltodextrina ($U_m = 0,0274$) que para o encapsulado com goma arábica ($U_m = 0,0438$). Os coeficientes de regressão dos ajustes foram maiores que 0,94 (variância explicada $> 90\%$) indicando um ajuste muito bom entre o modelo selecionado e os dados experimentais. As amostras começaram a se aglomerar a partir de $a_w = 0,432$. Para valores de atividade de água superior a 0,743 observou-se uma subida acentuada na umidade de equilíbrio indicando que nesta condição o material começa a se dissolver. O modelo de BET também foi o melhor ajustado às isotermas do pó de proteína de frango hidrolisada seco em *spray dryer* (KUROZAWA *et al*, 2009). Utilizou-se o aplicativo STATISTICA (v.7.0) para ajuste dos modelos não lineares.

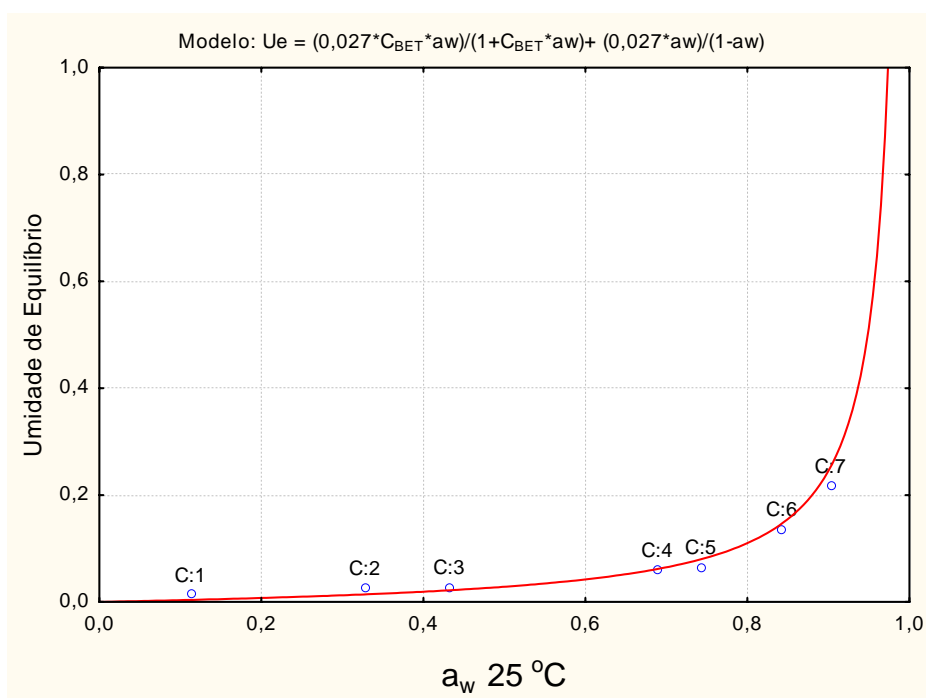


Figura 5.6 Isoterma de sorção do camu-camu encapsulado com maltodextrina. Dados experimentais ajustados pelo modelo de BET. $R^2 = 0,997$
Umidade na monocamada (U_m) = 0,0274; $C_{BET} = 0,100$.

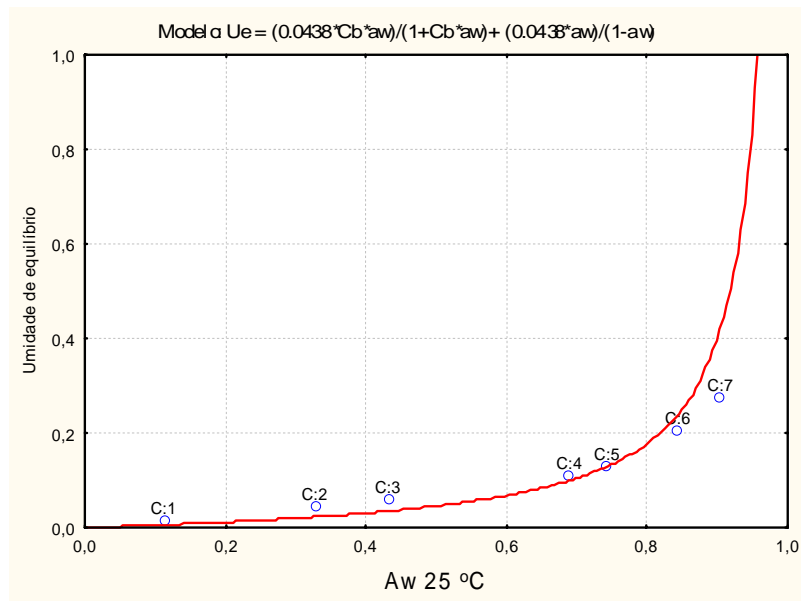


Figura 7 Isoterma de sorção do camu-camu encapsulado com goma arábica
 Dados experimentais ajustados pelo modelo de BET. $R^2 = 0,971$
 Umidade na monocamada (U_m) = 0,0438; $C_{BET} = 0.100$

Capítulo VI: CONCLUSÃO E SUGESTÕES

Ambos os materiais de parede avaliados apresentaram efeito protetor similar contra perdas de substâncias bioativas do núcleo. Entretanto, o processo de secagem foi mais eficiente quando a goma arábica foi utilizada como encapsulante, apresentando um maior rendimento em massa.

O pó de camu-camu encapsulado com a goma arábica apresentou maior afinidade ao vapor d'água principalmente em ambientes com atividade de água menor que 0,432.

O pó apresentou caráter bastante hidrofílico e deve ser armazenado em ambientes com atividade de água menor que 0,432. Independente do material de parede, o pó solubilizou em atividades de água superiores a 0,743.

Não foi observada uma correlação entre os teores de vitamina C e compostos fenólicos com a atividade antioxidante, ocorrendo maior perda desta última.

Mesmo considerando as perdas de compostos bioativos termossensíveis, o pó de camu-camu, se comparado com outros frutos, ainda é um alimento com elevadas concentrações de vitamina C e substâncias com atividade antioxidante, podendo ser utilizado como suplemento em dietas com baixa ingestão destes compostos e aplicação em alimentos.

Sugere-se para estudos futuros:

- Uma avaliação do teor de antocianinas no produto seco, tendo em vista que a polpa do camu-camu é uma fonte potencial, e podem ser as responsáveis por parte da atividade antioxidante da fruta;
- Testar novos encapsulantes naturais regionais tais como: goma do cajueiro e goma de tapioca;
- Determinar a atividade antioxidante em células (in vitro);
- Determinar o tempo de vida de prateleira do produto;
- Avaliar a influência do calor na atividade antioxidante;
- Realizar a análise da vitamina C por cromatografia;
- Realizar um estudo da granulometria do pó por microscopia eletrônica.

Capítulo VII: BIBLIOGRAFIA

- ALMEIDA, D. P. F., **Psicrometria – Apontamentos de apoio às aulas de tecnologia pós-colheita (Mestrado em Ciência e Tecnologia Pós-Colheita)**, Faculdade de Ciências, Universidade do Porto, 2004.
- ALVES, R. M., BORDIN, M. R. **Estimativa da vida útil de café solúvel por modelo matemático**. Ciência e Tecnologia de Alimentos, v. 18, n. 1, 1998.
- AMBIENTE BRASIL. **Camu-camu**. Disponível em: <http://www.ambientebrasil.com.br/composer.php3?base=./agropecuario/index.html&conteudo=./agropecuario/artigos/camu.html>. Acesso em: 10/03/2009.
- AMBRÓSIO. C. L.B; CÂMARA. F. A; CAMPOS. S; FARO. Z. P. **Carotenóides como alternativa contra a hipovitaminose A**. Revista de Nutrição. v.19, n.2, março/abril, p. 78-82, 2006.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). **Official methods of analysis**; edited by Sidney Williams. 14^a ed. Arlington, 1984.
- ARAÚJO, J. L., QUEIROZ, A. J. M., FIGUEIRÊDO, R. M. F. **Propriedades termofísicas da polpa do cupuaçu com diferentes teores de sólidos**. Ciência e Agrotecnologia, Lavras, v. 28 n. 1, p. 126-134, 2004.
- ARCHER, L. B., TAVARES, L.B. B., VALLE, R. C. S. C., VALLE, J. A. B., PRATA, A. T., SOUZA, S. M. A. G. U. **Alterações fisiológicas em maçãs fuji e gala armazenadas em Atmosfera dinâmica normal**. XVIII Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica, FURB, Blumenau, 2003.
- BARRETO , A. G., CABRAL, L. M. C., MATTA, V. M., FREITAS, S. P. **The quality of camu-camu juice processed by microfiltration**. XXXVII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 2008, Foz do Iguaçu.
- CHIRIFE, J.; IGLESIAS, H. A. **Equations for fitting water sorption isotherms of foods: part 1 – a review**. Journal of Food Technology, London, v. 13, p.159-174, 1978.
- INPA – Instituto de Pesquisa da Amazônia, Coordenação de Pesquisas em Ciências Agronômicas. **Cultivo do camu-camu**. 2007. Disponível em: <http://www.inpa.gov.br/cpca/areas/camu-camu.html> - Acesso em: 07/01/2009.
- CORDEIRO, D. **Camu-camu**. Disponível em: <http://chefdeboracordeiro.blogspot.com/2009/03/camu-camu.html>. Acesso em 10/03/2009.
- DEYRMENDJIAN, E., NOGUEIRA, R. I. **Isotermas de sorção de inulina de chicória (Cichorium intybus) em pó**. IX Congresso de Iniciação Científica da Unicamp. 2001.
- DIB TAXI, C. M. A. **Suco de Camu-camu (Myrciaria dubia) microencapsulado obtido através de secagem por atomização**. Tese de Doutorado, Unicamp, Campinas, SP. 2001.

- EMBRAPA. **Procedimento Operacional Padrão para determinação de Fenólicos Totais, vitamina C pelo método de Tillmans modificado, atividade antioxidante pelo método trolox equivalente (TEAC), sólidos totais, pH e acidez em ácido cítrico.** Embrapa Alimentos, Rio de Janeiro, RJ. 2006.
- FACHIN, D. T., CURTARELH, R. G., KATO, A. H. **Obtenção de isotermas de caqui fuyu desidratado.** XV Seminário de Iniciação científica, PUC-PR, 2007.
- FELLOWS, P. J. **Tecnologia do Processamento de Alimentos: Princípios e Prática.** 2ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2006.
- FRANCISCO, F. G., USBERTI, R., TONELI, J. T. C. L. **Ajuste de isotermas de sorção de sementes de cultivares de feijoeiro.** Revista Brasileira de Sementes, v. 29, n. 1, p. 35-39, 2007.
- FRANCO, M. R. B. **Aroma e Sabor de Alimentos – Temas atuais.** 1ª Ed. São Paulo: Livraria Varela, 2003.
- GAVA, A. **Princípios de Tecnologia de Alimentos.** 1ª Ed. São Paulo: Nobel, 2002.
- GHARSALLAOUI, A.; ROUDAUT, G.; CHAMBIN, O.; VOILLEY, A.; SAUREL, R.. **Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview.** Food Research International, n°40, p. 1107–1121, 2007.
- GUIDI, L.R.; FERREIRA, T.G.; PEREIRA, J.A.M. **Determinação de isotermas de sorção de açúcar mascavo,** 2009. Disponível em: www.hbatools.com.br/congresso/trabalho/42/105346_1.doc. Acesso em: 20/09/2009.
- INCROPERA, F. P., DeWITT, D. P. **Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa.** 5ª ed. Rio de Janeiro, RJ. LTC, 2003.
- KREITH, F., BOEHM, R. F. **Direct-contact Heat Transfer.** 1ª Ed. USA: Hemisphere Publishing Corporation, 1985.
- KRISHNAN, S.; KSHIRSAGAR, A. C.; SINGHAL, R. S. **The use of gum arabic and modified starch in the microencapsulation of a food flavoring agent.** Carbohydrate Polymers, n° 62, p. 309–315, 2005.
- KUROZAWA, L. E., PARK, K. J., HUBINGER, M. D. **Effect of maltodextrin and gum arabic on water sorption and glass transition temperature of spray dried chicken meat hydrolysate protein.** Journal of Food Engineering, n° 91, p. 287-296, 2009.
- LABUZA, T. P.; **Sorption phenomena in foods.** Food Technology, v.22, n.3, p15-24, 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, 1985.
- LIMA, U. A.; AQUARONE, E.; BORZANI, W.; SCHMIDELL, W. **Biotechnologia Industrial – Vol. 3.** Editora Edgard Blucher Ltda, São Paulo, SP, 2002.

- LOKSUWAN, J. **Characteristics of microencapsulated b-carotene formed by spray drying with modified tapioca starch, native tapioca starch and maltodextrin.** Food Hydrocolloids, v. 21, p. 928-935, 2007.
- MATHLOUTHI, M.; ROGÉ, B. **Water vapour isotherms and the caking of food products.** Food Chemistry, v.82, p. 61-71.
- MCCABE, W.L.; SMITH, J.C.; HARRIOTT, P. **Unit operations of chemical engineering. 5th Ed.** New York: McGraw-Hill, 1993.
- MORAN, M. J., SHAPIRO, H. N. **Fundamentals of Engineering Thermodynamics.** 4^a ed., Wiley, 1999.
- 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 isothermas em polpa de caju.** Revista de Biologia e Ciências da Terra, v. 4, n. 2. 2004.
- MUNIZ, M. B., QUEIROZ, A. J. M., FIGUEIRÊDO, R. M. F., DUARTE, M. E. M. **Caracterização termofísica de polpas de bacuri.** Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas, v. 26, n. 2, p. 360-368, 2006.
- ORDÓÑEZ, J. A. **Tecnologia de Alimentos – Vol. 1: Componentes dos Alimentos e Processos.** 1^a Ed. Porto Alegre: Artmed, 2005.
- PARK, K. J., BIN, A., BROD, F.P.R. **Obtenção das isothermas de sorção e modelagem matemática para a pêra bartlett (pyrus sp.) com e sem desidratação osmótica.** Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas, v. 21, n. 1, p. 73-77, 2001.
- PEREIRA, J. A. M.; QUEIROZ, D. M. de. **Principios de secado de granos psicometria higroscopia.** Oficina Regional de la FAO para America Latina y el Caribe, Santiago, Chile. 1991.
- PINEDO, R. A. **Cientistas descobrem o “poder” nutricional do camu-camu.** Jornal da Unicamp. 2007. Disponível em: http://www.unicamp.br/unicamp/unicamp_hoje/ju/outubro2007/ju376pag8a.html. Acesso em 07/01/2009.
- PINEDO, R. A. **Estudo da estabilização da polpa de camu-camu (Myrciaria dúbia (H.B.K.) Mc Vaugh) congelada visando a manutenção de ácido ascórbico e de antocianinas.** Dissertação de Doutorado, Unicamp. Campinas, SP, 2007.
- PRADO, A. **Composição fenólica e atividade antioxidante de frutas tropicais.** Dissertação de mestrado, ESALQ. Piracicaba, SP, 2009.
- Que barato - Figura camu-plus. Disponível em: <http://www.quebarato.com.br/busca.htm?kw=%20rincadeiras%20r%203%203ticas&page=6>. Acessado em: 25/03/2009.
- RATTES, A. L. R, Oliveira, W. P. **Spray drying conditions and encapsulating composition effects on formation and properties of sodium diclofenac microparticles.** Powder Technology. v. 171 i. 1, p. 7-14, 2007.

- REZENDE, L. C., OLIVEIRA, T. S., ALVES, C. Q., DAVID, J. M., DAVID, J. P. **Fenólicos totais e atividade antioxidante de frutas tropicais da Bahia**. Anais da 32ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química, Fortaleza, CE, 2009.
- ROESLER, R.; MALTA L. G.; CARRASCO L. C.; HOLANDA R. B.; SOUSA C. A. S.; PASTORE G. M. **Atividade antioxidante de frutas do cerrado**. Ciência e Tecnologia de Alimentos, v.27 n.1 Campinas, SP, 2007.
- SOUZA, A. S., BORGES, S. V., ROCHA-LEÃO, M. H. M., CIRILLO, M. A. **Isotermas de adsorção de cápsulas de ácidos graxos de cadeia curta (AGCC): avaliação de modelos matemáticos**. B. CEPPA, Curitiba, v.26, n.2, p. 163-170, 2008.
- STOLOFF, L. 1978. **Calibration of Water Activity Measuring Instruments and Devices: Collaborative Study**. JAOAC, v. 61, p. 1166-1178.
- SUPER FOODS. **Camu-camu powder**. Disponível em: <http://livesuperfoods.com/powders/LSF055.html>. Acesso em: 23/01/2009.
- SZYDŁOWSKA-CZERNIAK, A., DIANOCZKI, C., RECSEG, K., KARLOVITS, G., SZŁYK, E.. **Determination of antioxidant capacities of vegetable oils by ferric-ion spectrophotometric methods**. Talanta, v.76, p. 899-905, 2008.
- TONON, R. V., BRABET, C., HUBINGER, M.D. **Influence of process conditions on the physicochemical properties of açai (Euterpe oleraceae Mart.) powder produced by spray drying**. Journal of Food Engineering, v.88, p. 411-418, 2008.
- VIEIRA, A. H., FIGUEIREDO, R. M. F., QUEIROZ, A. J. de M. **Isotermas de adsorção de umidade da pitanga em pó**. Revista de Biologia e Ciências da Terra, v. 7, n. 1, 2007.
- VIZZOTTO, M.; CARDOSO, J. H.; CASTILHO, P. M.; PEREIRA, M. C.; FETTER, M. da R. **Composição fitoquímica e atividade antioxidante de sucos produzidos com diferentes espécies de frutas nativas**. XVIII CICI, XI ENPOS, I Mostra Científica. UFPel, Pelotas, RS, 2009.
- YUYAMA, L. K. O.; AGUIAR, J. P. L.; YUYAMA, K.; LOPES, T. M.; FÁVARO, D. I. T.; BERGL, P. C. P.; VASCONCELOS, M. B. A. **Teores de elementos minerais em algumas populações de camu-camu**. Acta Amazônica, v. 33, n.4, p. 549-554, 2003
- ZANATTA, C.F. **Determinação da composição de carotenóides e antocianinas de camu-camu (Myrciaria dúbia)**. Campinas, SP, 2004.
- ZHANG, X. W.; LIU, X; GU, D. X.; ZHOU, W.; WANG, R.L.; LIU, P. **Desorption isotherms of some vegetables**. Journal of Science and Agriculture, v. 70, n.3, p. 303-306, 1996.

APÊNDICE

Cálculos

a) Rendimento

Sc – sólidos totais da polpa

Sp – sólidos totais do pó

Rs – relação entre Sc e Sp

$$R_s = \frac{S_p}{S_c}$$

Pc – valor analisado da polpa

Pp – valor analisado do pó

VT – Valor teórico

$$VT = P_c * R_s$$

VT ---- 100% Perda % = 100-x

Pp ---- x

I – Goma arábica

Sc = 5,55%

Sp = 97,20%

- Atividade antioxidante:

Pc = 108,7 (µmol Trolox/g amostra)

Pp = 530,2 (µmol Trolox/g amostra)

$$R_s = \frac{97,2}{5,55} = 17,5 \quad VT = 108,7 * 17,5 = 1903,7$$

1901,7 ---- 100% x = 27,85 Perda% = 100-27,85 = 72,15%

530,2 ----- x

- Compostos Fenólicos:

$$Pc = 671,28 \text{ (mg/100g)}$$

$$Pp = 6654,44 \text{ (mg/100g)}$$

$$Rs = \frac{97,2}{5,55} = 17,5 \quad VT = 671,28 * 17,5 = 11747,4$$

$$11747,4 \text{ ---- } 100\% \quad x = 56,65 \quad \text{Perda\%} = 100 - 56,65 = 43,35\%$$

$$6654,44 \text{ ----- } x$$

- Vitamina C:

$$Pc = 1603,0 \text{ (mg/100g)}$$

$$Pp = 15363,2 \text{ (mg/100g)}$$

$$Rs = \frac{97,2}{5,55} = 17,5 \quad VT = 1603 * 17,5 = 28052,5$$

$$28052,5 \text{ ---- } 100\% \quad x = 54,76 \quad \text{Perda\%} = 100 - 54,76 = 45,23\%$$

$$15363,2 \text{ ----- } x$$

2 – *Maltodextrina*

$$Sc = 6,35\%$$

$$Sp = 96,79\%$$

- Atividade antioxidante:

$$Pc = 113,7 \text{ (}\mu\text{mol Trolox/g amostra)}$$

$$Pp = 421,6 \text{ (}\mu\text{mol Trolox/g amostra)}$$

$$Rs = \frac{96,79}{6,35} = 15,24 \quad VT = 113,7 * 15,24 = 1732,8$$

$$1732,8 \text{ ---- } 100\% \quad x = 24,33 \quad \text{Perda\%} = 100 - 24,33 = 75,67\%$$

$$421,6 \text{ ----- } x$$

- Compostos Fenólicos:

$$P_c = 574,52 \text{ (mg/100g)}$$

$$P_p = 5911,56 \text{ (mg/100g)}$$

$$R_s = \frac{96,79}{6,35} = 15,24 \quad VT = 574,52 * 15,24 = 8755,7$$

$$8755,7 \text{ ---- } 100\% \quad x = 67,52 \quad \text{Perda\%} = 100 - 67,52 = 32,48\%$$

$$5911,56 \text{ ----- } x$$

- Vitamina C:

$$P_c = 1523,1 \text{ (mg/100g)}$$

$$P_p = 11258,7 \text{ (mg/100g)}$$

$$R_s = \frac{96,79}{6,35} = 15,24 \quad VT = 1523,1 * 15,24 = 23212,0$$

$$23212,0 \text{ ---- } 100\% \quad x = 48,5 \quad \text{Perda\%} = 100 - 48,5 = 51,49\%$$

$$11258,7 \text{ ----- } x$$

b) Balanços de massa e energia

Obs.: Os balanços de massa e energia foram calculados com os dados do melhor experimento, e não com a média. Por esse motivo, podem não ser semelhantes aos dados apresentados no capítulo 5.

Tabela 1 Dados para o balanço de massa

Dados balanço de massa			
		MD	GA
m_C	Vazão mássica da polpa de camu-camu (mL/min)	13,88	16,67
m_C	Vazão mássica da polpa de camu-camu (kg/h)	0,833	1,0
F_{ar}	Vazão de ar (L/h)	700	700
F_{ar}	Vazão de ar (m^3/h)	6,874	6,874
x_C	Teor de sólidos na polpa de camu-camu	0,067	0,050
x_P	Teor de umidade no pó	0,026	0,025
t	Tempo de processo (h)	0,362	0,400
M_P	Massa de produto (kg)	0,018	0,019
m_P	Vazão mássica do produto (kg/h)	0,050	0,048
ρ_{ac}	Densidade do ar comprimido (kg/m^3)	9,82	9,82
UA_1	Umidade absoluta do ar antes do aquecedor (20°C)	0,007	0,007

Considerando $\rho_{cc} = \rho_{\text{água}} = 1,0$ g/ml. GA – Goma arábica. MD – Maltodextrina

Tabela 2 Dados para o balanço de energia

Dados balanço de energia			
		MD	GA
T_C	Temperatura de entrada da polpa (°C)	20	20
T_P	Temperatura de saída do produto da câmara (°C)	90	92
T_1	Temperatura do ar antes do aquecedor (°C)	20	20
T_2	Temperatura do ar após o aquecedor (°C)	185	185
T_3	Temperatura do ar após o spray dryer (°C)	90	----
T_4	Temperatura do ar após o spray dryer (°C)	----	92
UR	Umidade relativa do ar antes do aquecedor (%)	55	55

GA – Goma arábica. MD – Maltodextrina

Tabela 3 Parâmetros termodinâmicos

Capacidade calorífica do ar	0,25 cal/g°C
Capacidade calorífica da polpa de camu-camu	0,754 cal/g°C
Calor latente de mudança de fase (20°C) – tabela de vapor	586 kcal/kg
Calor latente de mudança de fase (90°C) – tabela de vapor	545,4 kcal/kg
Calor latente de mudança de fase (92°C) – tabela de vapor	540,3 kcal/kg
Calor latente de mudança de fase (185°C) – tabela de vapor	478 kcal/kg
Densidade do ar na entrada (185°C)	9,82 kg/m ³

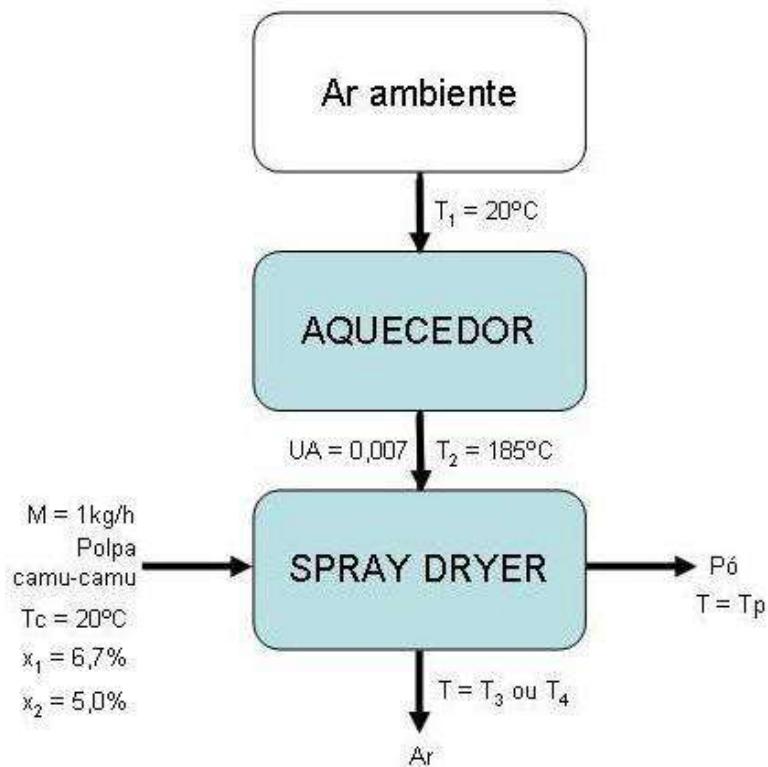


Figura 1 – Representação do spray dryer com dados de processo

- **Densidade do ar comprimido**

$$PV = nRT$$

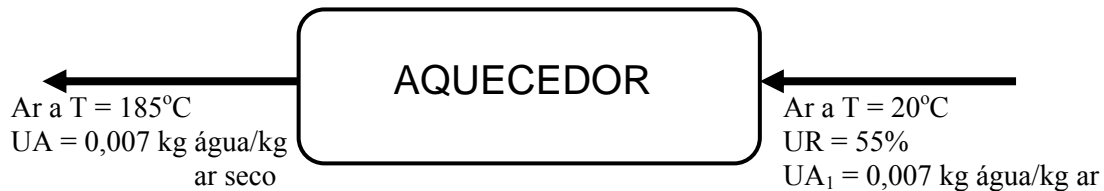
$$n = \frac{m}{MM}$$

$$\rho = \frac{n}{V}$$

$$\rho_{ar_comprimido} = \frac{MM \times P}{RT}$$

$$\rho_{ar_comprimido} = \frac{28,9 \frac{g}{mol} \times 8,16 atm}{0,082 \frac{atm.L}{mol.K} (20 + 273) K} = 9,82 \frac{g}{L} = 9,82 \frac{kg}{m^3}$$

- **Consumo de energia no aquecedor**



- **Cálculo da variação de entalpia no aquecedor**

$$G \text{ (vazão de ar seco)} = \text{vazão do ar} \times (1 - UA)$$

$$G = 700 \text{ L/h} \times (1 - 0,007) = 695,1 \text{ L/h}$$

$$\rho_{ar} = 9,82 \text{ kg/m}^3 \quad 0,6951 \frac{m^3}{h} \times 9,82 \frac{kg}{m^3}$$

$$G = 6,83 \text{ kg ar seco/h}$$

Considerando $T_{ref} = 20^\circ C$

$$H_{ar}^E = c_h \Delta T + U_{ar} \lambda (20^\circ C) = 0 + U_{ar} \lambda (20^\circ C) = 0,007 \times 586 (\text{kcal} / \text{kg}_{ar})$$

$$H_{ar}^E = 4,1 \text{ kcal} / \text{kg}_{ar}$$

$$H_{ar}^S = c_h \Delta T + U_{ar} \lambda (185^\circ C)$$

$$H_{ar}^S = 0,25 \frac{\text{cal}}{g^\circ C} (185 - 20)^\circ C + 0,007 \times 478 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} = 44,6 \text{ kcal} / \text{kg}_{ar}$$

$$\Delta H = 44,6 - 4,1 = 40,5 \text{ kcal} / \text{kg}_{\text{ar seco}}$$

$$Q_{\text{Aquecedor}} = Gx\Delta H = 6,83 \frac{\text{kg}_{\text{ar seco}}}{\text{h}} \times 40,5 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}_{\text{ar seco}}}$$

$$\Delta H_{\text{Aquecedor}} = 276,6 \text{ kcal} / \text{h}$$

➤ Câmara de secagem

- Balanço de massa para sólido

a) Maltodextrina

vazão de massa seca na alimentação (M_S): $M_S = m_c \cdot x_c = 0,833 \cdot 0,067 = 0,056 \text{ kg/h}$

massa de produto teórica = $M_S \cdot t = 0,056 \text{ (kg/h)} \cdot 0,362 \text{ (h)} = 0,0203 \text{ kg}$

massa de produto perdida = $M_{\text{teórica}} - M_{\text{exp}} = 20,3 - 18,1 = 2,2 \text{ g}$

b) Goma arábica

vazão de massa seca na alimentação (M_S): $M_S = 1 \cdot 5,0\% = 0,050 \text{ kg/h}$

massa de produto teórica = $M_S \cdot t = 0,050 \text{ (kg/h)} \cdot 0,400 \text{ (h)} = 0,0200 \text{ kg}$

massa de produto perdida = $M_{\text{teórica}} - M_{\text{exp}} = 20,00 - 19,08 = 0,92 \text{ g}$

- Balanço de massa para água

a) Maltodextrina

$M_{\text{água}} \text{ (entra na polpa)} = (1 - x_c)m_c = (1 - 0,067)0,833 = 0,777 \text{ kg/h}$

$M_{\text{água}} \text{ (sai no pó)} = x_p \cdot m_p = 0,026 \cdot 0,05 = 0,0013$

$M_{\text{água evap.}} = 0,777 - 0,0013 = 0,7759 \text{ kg/h}$

b) Goma arábica

$M_{\text{água}} \text{ (entra na polpa)} = (1 - x_c)m_c = (1 - 0,05)1 = 0,95 \text{ kg/h}$

$M_{\text{água}} \text{ (sai no pó)} = x_p \cdot m_p = 0,025 \cdot 0,048 = 0,0012$

$M_{\text{água evap.}} = 0,95 - 0,0012 = 0,9488 \text{ kg/h}$

- **Corrente de gás**

a) Maltodextrina

$$M_{\text{vapor.sai}} = U \left(\frac{\text{kg água}}{\text{kg ar seco}} \right) * G \left(\frac{\text{kg ar seco}}{h} \right)$$

$$M_{\text{vapor,s}}^{\text{ar}} = M_{\text{água.evap}} + M_{\text{vapor,e}}^{\text{ar}} = 0,776 + 0,007 * 6,83(\text{kg} / h) = 0,824\text{kg} / h$$

$$UA_3 = M_{\text{vapor sai}}/G = 0,824/6,83 = 0,121 \text{ kg água/kg ar}$$

b) Goma arábica

$$M_{\text{vapor.sai}} = U \left(\frac{\text{kg água}}{\text{kg ar seco}} \right) * G \left(\frac{\text{kg ar seco}}{h} \right)$$

$$M_{\text{vapor,s}}^{\text{ar}} = M_{\text{água.evap}} + M_{\text{vapor,e}}^{\text{ar}} = 0,949 + 0,007 * 6,83(\text{kg} / h) = 0,997\text{kg} / h$$

$$UA_3 = M_{\text{vapor sai}}/G = 0,997/6,83 = 0,146 \text{ kg água/kg ar}$$

- **Balanco de Energia**

Considerando que o sistema é adiabático (sem perda de calor para o meio ambiente)

a) Maltodextrina

$$T_{\text{ref}} = 90^{\circ}\text{C}$$

$$H_e^{\text{Polpa}} = mc_p \Delta T = 1 \frac{\text{kg}}{h} * 0,754 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}^{\circ}\text{C}} * (20 - 90)^{\circ}\text{C}$$

$$H_e^{\text{Polpa}} = -52,8\text{kcal} / h$$

$$H_s^{\text{Polpa}} = mc_p \Delta T = 0$$

$$H^{\text{Ar}} = G * [c_h \Delta T + U * \lambda(90^{\circ}\text{C})]$$

$$H_e^{\text{Ar}} = 6,83 * \left[0,25 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}^{\circ}\text{C}} * (185 - 90)^{\circ}\text{C} + 0,007 * 545,4 \frac{\text{kcal}}{\text{kg.vapor}} \right]$$

$$H_e^{\text{Ar}} = 6,83 * [23,25 + 3,82]\text{kcal} = 188,3\text{kcal}$$

$$H_s^{Ar} = 6,83 * [0 + 0,121 * 545,4]kcal = 446,5kcal$$

a) Goma arábica

$$T_{ref} = 92^{\circ}C$$

$$H_e^{Polpa} = mc_p \Delta T = 1 \frac{kg}{h} * 0,754 \frac{kcal}{kg^{\circ}C} * (20 - 92)^{\circ}C$$

$$H_e^{Polpa} = -54,3kcal / h$$

$$H_s^{Polpa} = mc_p \Delta T = 0$$

$$H^{Ar} = G * [c_h \Delta T + U * \lambda(92^{\circ}C)]$$

$$H_e^{Ar} = 6,83 * \left[0,25 \frac{kcal}{kg^{\circ}C} * (185 - 92)^{\circ}C + 0,007 * 540,3 \frac{kcal}{kg.vapor} \right]$$

$$H_e^{Ar} = 6,83 * [23,75 + 3,78]kcal = 184,6kcal$$

$$H_s^{Ar} = 6,83 * [0 + 0,146 * 540,3]kcal = 538, kcal$$

ANEXO

Gráfico psicrométrico – Fonte: FAO, 1991

