

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Integer ut turpis at augue molestie fringilla eu vel lectus. Aenean id urna est, vitae elementum libero. Nulla tristique diam ut dolor commodo cursus bibendum massa dictum. Integer a lacus eu nulla ornare blandit. Curabitur id quam velit. Sed sapien justo, posuere id ornare non, auctor eget purus. Nunc tincidunt mi est. Proin cursus quam non quam lobortis ac tristique nunc elementum. Aliquam quam neque, pellentesque id accumsan a, suscipit a eros. Mauris elementum gravida nisl et placerat. Morbi malesuada ante ut eros dapibus venenatis.

TECNOLOGIAS PARA INOVAÇÃO NAS CADEIAS EUTERPE



José Dalton Cruz Pessoa
Gustavo Henrique de Almeida Teixeira
Editores

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Instrumentação
Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento*

TECNOLOGIAS PARA INOVAÇÃO NAS CADEIAS EUTERPE

Editores

José Dalton Cruz Pessoa

Gustavo Henrique de Almeida Teixeira

**Embrapa
Brasília, DF
2012**

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Instrumentação
Rua XV de Novembro, 1452
Caixa Postal 741
CEP 13560-970 - São Carlos-SP
Fone: (16) 2107 2800
Fax: (16) 2107 2902
www.cnpdia.embrapa.br
E-mail: sac@cnpdia.embrapa.br

Unidade responsável pelo conteúdo e edição

Embrapa Instrumentação

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: *João de Mendonça Naime*

Membros: *Débora Marcondes Bastos Pereira Milori, Washington Luiz de Barros Melo, Sandra Protter*

Gouvea, Valéria de Fátima Cardoso.

Membro Suplente: *Paulo Sérgio de Paula Herrmann Junior*

Revisor editorial: *Valéria de Fátima Cardoso*

Normalização bibliográfica: *Valéria de Fátima Cardoso*

Tratamento de ilustrações: *Gráfica Suprema*

Capa: *José Dalton Cruz Pessoa*

Edição eletrônica: *Gráfica Suprema*

1ª edição

1ª impressão (2012): 300 exemplares

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na publicação (CIP)

Embrapa Instrumentação

T255 Tecnologias para inovação nas cadeias euterge / José Dalton Cruz Pessoa, Gustavo Henrique de Almeida
Teixeira editores. -- Brasília, DF : Embrapa, 2012.
343 p. ; 16 cm x 23 cm.

ISBN: 978-85-7035-089-3

1. Açai. 2. Tecnologia de alimento. 3. Processamento. I. Pessoa, José Dalton Cruz. II. Teixeira, Gustavo Henrique de Almeida. III. Embrapa Instrumentação.

CDD 21 ED. 634.9745

664.8046

© Embrapa 2012

AUTORES

Ádina Lima de Santana

Engenharia de alimentos, graduação
Mestranda em Engenharia Química pela UFPA
adina_santana@hotmail.com

Alan Ribeiro dos Reis

Engenharia mecânica, mestrado
Docente do Centro Universitário Herminio Ometto de Araras, Araras - SP
alan_sz5@yahoo.com.br

Alessandra Ferraiolo Nogueira Domingues

Engenharia química, doutorado
Pesquisador da Embrapa Amazônia Oriental, Belém - PA
ferraiolo@cpatu.embrapa.br

André Colson Schwob

Engenharia mecânica, bacharelado
Sócio diretor da NUfruits do Brasil, Belém - PA
andre.schwob@gmail.com

Antônio Cordeiro de Santana

Engenharia agrônômica, doutorado
Professor Associado IV da Universidade Federal Rural da Amazônia
acsantana@superig.com.br

Carlos Triveño Rios

Engenharia metalúrgica, doutorado
Professor Adjunto da Universidade Federal do ABC, Santo André - SP
carlos.triveno@ufabc.edu.br

Cristiane Sanchez Farinas

Engenharia química, doutorado
Pesquisador da Embrapa Instrumentação, São Carlos - SP
cristiane@cnpdia.embrapa.br

Danielle Tupinambá Emmi

Odontologia, mestrado

Membro da Comissão de Bioética da Universidade Federal do Pará, Belém - PA

dtemmi@yahoo.com.br

Dráulio Barros de Araújo

Física médica, doutorado

Professor Titular da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal - RN

draulio@neuro.ufrn.br

Edson Noriyuki Ito

Engenharia de materiais, doutorado

Professor Adjunto II da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal - RN

ito@ufrnet.br

Elias Hage Junior

Engenharia de materiais, doutorado

Professor Associado da Universidade Federal de São Carlos, São Carlos - SP

elias@ufscar.br

Fagner Sousa de Aguiar

Ciência e tecnologia de alimentos, mestrado

fagnersag@hotmail.com

Gisele Vieira Ribeiro

Ciências biológicas, mestrado

gvr.bio@gmail.com

Gustavo Henrique de Almeida Teixeira

Eng. Agrônoma, doutorado

Professor Doutor, MS 3, RDIDP da Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto - SP

gustavo@fcrp.usp.br

Herve Louis Ghislain Rogez

Ciências agrárias e engenharia biológica, doutorado

Professor Associado da Universidade Federal do Pará, Belém - PA

frutas@amazon.com.br

José Dalton Cruz Pessoa

Física, doutorado

Pesquisador da Embrapa Instrumentação, São Carlos - SP

dalton@cnpdia.embrapa.br

José Manoel Marconcini

Eng Materiais, doutorado

Pesquisador da Embrapa Instrumentação, São Carlos - SP

marconcini@cnpdia.embrapa.br

Karina Eder

Matemática, mestrado

karina.eder@yahoo.com.br

Kassio Michell Gomes de Lima

Química, doutorado

Professor Adjunto Nivel I da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal - RN

kassio@ufrnet.br

Luis Carlos Trevelin

Computação, doutorado

Professor Associado da Universidade Federal de São Carlos

trevelin@dc.ufscar.br

Luiz Henrique Capparelli Mattoso

Engenharia de materiais, doutorado

Pesquisador da Embrapa Instrumentação, São Carlos - SP

mattoso@cnpdia.embrapa.br

Luiz Ferreira de França

Engenharia de alimentos, doutorado

Professor Associado 2 da Universidade Federal do Pará, Belém - PA

franca@ufpa.br

Marcos Arduin

Ciências biológicas, doutorado

Professor Adjunto da Universidade Federal de São Carlos, São Carlos - SP

darduin@power.ufscar.br

Marcus Arthur Marçal de Vasconcelos

Engenharia de alimentos, mestrado
Pesquisador da Embrapa Amazônia Oriental, Belém - PA
marcus.vasconcelos@embrapa.br

Maria Alice Martins

Engenharia de Materiais, doutorado
Pesquisador da Embrapa Instrumentação, São Carlos - SP
mariaalice@cnpdia.embrapa.br

Nádia Cristina Fernandes Corrêa

Engenharia de Alimentos, doutorado
Professor Adjunto IV da Universidade Federal do Pará
nadia@ufpa.br

Paulo de Souza Gonçalves

Agronomia, doutorado
Pesquisador da Embrapa lotado no Instituto Agronômico (IAC), Campinas - SP
paulog@iac.sp.gov.br

Rafaella de Andrade Mattietto

Tecnologia de alimentos, doutorado
Pesquisadora da Embrapa Amazônia Oriental, Belém - PA
rafaella@cpatu.embrapa.br

Regina Fátima Feio Barroso

Odontologia, doutorado
Professor Associado II da Universidade Federal do Pará, Belém - PA
rebar@ufpa.br

Renata Natsumi Haneda

Ciências biológicas, doutorado
Bolsista da Universidade Federal de São Carlos, São Carlos - SP
renatanathaneda@gmail.com

Rita Margarete Donato Machado

Ciência dos alimentos, doutorado
Bolsista da Universidade de São Paulo, São Carlos - SP
ridonato@hotmail.com

Rodrigo Rafael Mendonça dos Santos

Ciências biológicas, mestrado
rrmsantos@yahoo.com.br

Rosa Beatriz Barbosa Monteiro

Nutrição, bacharelado
rosabia2004@ig.com.br

Sandra Leandro Koizimi

Ciência da computação, mestrado
Professor II do Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, São Carlos - SP
sandra_koizimi@yahoo.com.br

Sergio Rodrigues Fontes

Física, doutorado
Professor Associado da Universidade de São Paulo, São Carlos - SP
srf@sc.usp.br

Tiago Arruda Sanchez

Física médica, doutorado
Professor Adjunto da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro - RJ
tiago@hucff.ufrj.br

Valquiria Garcia Lopes

Ciências agrárias, graduação
valquiria.lopes@yahoo.com.br

Victor Bertucci Neto

Engenharia Elétrica, doutorado
Pesquisador da Embrapa Instrumentação, São Carlos - SP
victor@cnpdia.embrapa.br

8. TECNOLOGIA DE PRODUÇÃO DE AÇAÍ EM PÓ E DESENGORDURADO

Luiz Ferreira de França

Rosa Beatriz B. Monteiro

Marcus A. M. de Vasconcelos

Nádia Cristina Fernandes Corrêa

INTRODUÇÃO

O açaí (*Euterpe oleracea*) atualmente tem se destacado como a espécie frutífera tropical de maior adensamento econômico, particularmente no Estado do Pará, tendo um impacto expressivo nas condições socioeconômicas de uma parcela significativa da população, com a expansão da cadeia produtiva. No entanto, algumas questões precisam ser solucionadas, dentre as quais se destacam a diversificação de produtos com a agregação de valor a partir do fomento, por parte do setor público e privado, na busca de mais conhecimentos e, paralelamente, promover a melhor capacitação dos recursos humanos envolvidos na cadeia produtiva.

O suco de açaí é o produto de maior aceitação da palmeira para a região amazônica. Sua produção é relativamente simples, baseando-se na extração, por atrito, da polpa e casca do fruto, de forma manual ou mecânica, precedida de imersão em água, resultando um produto de consistência variável e tom geralmente violáceo que abastece o mercado consumidor. Hoje, com a expansão da demanda, incluindo-se o mercado internacional, houve uma evolução nos métodos de tratamento para a conservação, no entanto o mais utilizado ainda é o congelamento, às vezes precedido de pasteurização.

O açaí contém quantidades significativas de antocianinas (POZO-INSFRAN et al., 2004) constituídas principalmente de cyanidina 3-O-glucosídeo e cyanidina 3-O-rutinosídeo (GALORI et al., 2004). Trata-se de um flavonoide responsável pela coloração característica desta fruta, que apresenta um elevado poder antioxidante (SCHAUSS et al., 2006; HASSIMOTO et al., 2005), sendo constituído de glicosídeos de derivados polihidroxilados e polimetoxilados do cátion 2-fenilbenzopirilium (flavilium), pigmentos naturais responsáveis pelas cores laranja, vermelho e azul (e suas combinações) de muitos vegetais (EINBOND et al., 2004; WANG et al., 1997; KONG et al., 2003). Os flavonoides constituem classe de destaque por seus confirmados efeitos protetores contra muitas doenças, principalmente doenças cardiovasculares e câncer (WALLE, 2004).

No entanto, devido a sua alta perecibilidade, o açaí apresenta uma vida de prateleira muito curta, mesmo sob refrigeração. Além disso, as antocianinas são pigmentos bastante instáveis ao processamento e armazenamento. Desta forma, a indústria alimentícia está constantemente em busca de novas fontes destes pigmentos, que sejam mais estáveis e apresentem um baixo custo (POZO-INSFRAN et al., 2004).

A produção de açaí em pó representa uma alternativa no sentido de melhorar a conservação do produto mantendo os componentes antioxidantes. Os produtos em pó apresentam baixa atividade de água, o que dificulta ou até impede o crescimento de microrganismos e as reações físico-químicas responsáveis por sua deterioração, aumentando, assim, sua vida útil. No entanto, o processo tradicional de extração da polpa do açaí envolve uma quantidade substancial de água, produzindo uma solução aquosa com 80-90% de água, isto é, com características de sucos de frutas, o que dificulta as operações de produção de açaí em pó. Estudos para o despolpamento do fruto açaí com utilização de menores quantidades de água têm sido realizados no Laboratório de Operações de Separação da Universidade Federal do Pará (LAOS/ITEC/UFPA), mas o produto resultante apresenta muita fibra celulósica, em virtude da polpa no fruto de açaí representar uma fina película sobre o caroço, que é formado basicamente de celulose.

O processo normalmente utilizado na produção de sucos de fruta em pó é a secagem por atomização (*spray drying*). Trata-se de um processo econômico e flexível, realizado em um equipamento de fácil manipulação (RÉ, 1998). As características finais do produto em pó obtido em um processo de secagem por atomização dependem de algumas variáveis de processo, tais como as características do líquido atomizado (teor de sólidos, tamanho das partículas, viscosidade), tipo e mecanismo de funcionamento do atomizador, e as características do ar de secagem. É importante que o processo seja otimizado a fim de se obter produtos com melhores características sensoriais e nutricionais, além de um melhor rendimento de secagem (TONON, 2009).

Outro processo de desidratação usado para a produção do açaí em pó é a liofilização, usado por alguns produtores, mas ainda não disseminado no meio de produção devido a seu alto custo. Este processo envolve uma etapa preliminar de congelamento na qual deve ser controlada a taxa e o tempo de resfriamento para a obtenção de um produto congelado uniforme em termos de cristais de gelo para o sucesso posterior da etapa de sublimação da água. A liofilização propriamente dita é a etapa de eliminação da água pela sublimação do gelo em temperatura e pressão inferiores ao ponto triplo da água. Esta operação envolve alto vácuo, o que requer um consumo maior de energia para a sua produção, havendo, portanto, necessidade de se buscar alternativas para a sublimação da água.

Todos esses métodos de conservação, congelamento do suco e secagem por pulverização, ou mesmo por liofilização, são procedimentos que contribuem para a elevação do preço do produto. No congelamento, a energia usada é menor, no entanto, o custo é aumentado com o transporte de uma massa maior, além das condições especiais de armazenagem. Na secagem por pulverização, o produto perde parte de seus constituintes com o aumento da temperatura, além de necessitar embalagem específica para o seu armazenamento. Na liofilização, tem-se o custo de energia mais elevado dos três, pois requer duas operações, congelamento e sublimação sob vácuo, porém garante ao produto a conservação de suas características originais, a ele agregando valor.

O teor de lipídeos do açaí em pó está em torno de 50%, e como este material se deteriora

por hidrólise e por oxidação, o aumento da estabilidade do açaí em pó pode ser conseguido com a redução do teor de lipídeos. Além da estabilidade do açaí e conservação da antocianina, a retirada total ou parcial dos lipídeos o torna um produto menos calórico. Outra alternativa é a reconstituição da bebida açaí, ou seja, a junção dos componentes pó de açaí e lipídeo, se for o desejo do consumidor, visto que a fração lipídica é rica em ácidos graxos poliinsaturados.

Os flavonóides, como a antocianina, são moléculas termodegradáveis e altamente insaturadas, e o emprego de altas temperaturas ou de produtos químicos para a extração do óleo de açaí pode destruir parte destes, quer por degradação quer por oxidação. Processos que empregam gases a altas pressões como solventes de extração, conhecidos como Extração com Fluidos Supercríticos (EFS), têm sido estudados devido à facilidade relativa de sua separação do solvente, obtendo-se assim extratos mais puros. O dióxido de carbono em condições supercríticas possui certas características que o tornam apropriado para o uso em extração e é muito utilizado como solvente de substâncias apolares (FRANÇA et al., 1999). Além disso, o seu poder solvente pode ser modificado pela variação da densidade, seja variando a pressão ou variando a temperatura, tornando-se, desse modo, seletivo para algumas substâncias naturais. Sua solubilidade mútua com a água é pequena, o que permite que seja usado como solvente para extração de compostos orgânicos de soluções aquosas. Possui alta volatilidade se comparada com a de qualquer composto orgânico extraído, facilitando assim sua separação da solução extrato para recuperação do produto e reciclagem do dióxido de carbono. Ademais, o dióxido de carbono tem propriedades favoráveis de transporte, baixa viscosidade e alta difusividade. Sua temperatura e pressão crítica (304,1K e 73,8 bar) são facilmente acessíveis. Seu calor de vaporização é baixo, especialmente próximo ao ponto crítico, propiciando um baixo requerimento de energia nos processos, além de ser atóxico, não inflamável, de fácil obtenção e possuir baixo custo (BRUNNER, 1994).

No LAOS/ITEC/UFPA, o fracionamento dos componentes principais do açaí (lipídeos, carboidratos e proteínas) tem sido estudado no sentido de conseguir aumentar o tempo de prateleira do açaí ou obter produtos de maior valor agregado. Os métodos empregados envolvem o despolpamento seguido de secagem por pulverização, ou liofilização seguida de extração do óleo com fluido supercrítico.

SECAGEM POR PULVERIZAÇÃO

A secagem é um dos processos comerciais mais utilizados para o aumento da vida de prateleira de muitos alimentos, caracterizando-se pela transferência simultânea de calor e massa entre o produto e o ar de secagem.

Apesar de ser muito utilizada, a secagem pode alterar as características físicas, sensoriais e nutricionais dos alimentos, e a intensidade de tais alterações depende do processo de secagem, das condições utilizadas e das características próprias do material a ser seco.

A operação de secagem por pulverização ou “*spray drying*” consiste de atomização do líquido, contato do líquido atomizado com o ar quente, evaporação da água e separação do produto em pó do ar de secagem, de modo que todas estas fases interferem nas características do pó final. A maneira de atomizar e as propriedades do líquido atomizado influenciam o tamanho

da partícula sólida, sua densidade, aparência e umidade. O tipo de contato líquido/ar quente e a evaporação influenciam não só essas características, como também a capacidade de retenção de aroma e sabor, enquanto a técnica de separação do pó do ar seco influencia a granulometria do produto desejado (TONON, 2009).

A Tabela 1 apresenta um quadro das inter-relações entre os parâmetros de secagem por pulverização, no entanto não pode ser generalizada como regra para o processo. A heterogeneidade de comportamento nas substâncias sujeitas ao processo de secagem usualmente requer a implementação de regras por tentativa e erros (CAL; SOLLOHUB, 2010).

Tabela 1. Inter-relações mútuas entre os parâmetros na secagem por pulverização

Parâmetro	Temperatura de saída	Tamanho da partícula	Teor de água no produto	Eficiência do processo
Aumento da vazão de ar de secagem	(Positivo) Menores perdas de calor com relação a energia total	-	(Muito negativo) Menor pressão parcial do vapor de água	(Muito positivo) Melhor separação no ciclone
Aumento da umidade do ar	(Positivo) Maior energia contida na água	-	(Muito positivo) Maior pressão parcial do ar de secagem	(Negativo) Mais água pode levar a aderência do produto nas paredes da câmara (Positivo) Eventualmente produto do secador prevent adhering
Aumento da temperatura de entrada	(Muito positivo) Relação direta	-	(Muito negativo) Menor umidade relativa do ar	-
Aumento do fluxo de ar de atomização	(Negativo) Maior quantidade de ar frio a ser aquecido	(Muito negativo) Maior quantidade de energia por atomização	-	-
Aumento da vazão de alimentação	(Muito negativo) Mais solvente a ser evaporado	(Positivo) Mais líquido a ser disperso	(Muito positivo) Maior quantidade de água constituindo uma maior pressão parcial	Depende da aplicação
Aumento da concentração de sólido na alimentação	(Muito positivo) Menos água a ser evaporada	(Muito positivo) Mais sólido disponível para formação de partícula	(Negativo) Menos água evaporada, pressão parcial inferior	(Positivo) Partículas maiores são mais fáceis de separar no ciclone

Uma das respostas mais relevantes afetada pelas condições de operação do processo é a qualidade do produto resultante. As variáveis devem ser controladas visando a obtenção de um melhor rendimento e de um teor de água adequado no produto, estabilidade

química, minimização da aderência de partículas na câmara de secagem e características tecnológicas específicas. As propriedades do produto são normalmente determinadas pelos fatores relacionados às características do material de entrada e do processamento, isto é, parâmetros de operação e do equipamento.

Para a secagem de extratos derivados de plantas, a seleção e o uso adequado de adjuvantes no processo de secagem por pulverização é uma fase de fundamental importância, visto que determina a estabilidade e a qualidade dos mesmos, podendo inclusive afetar as características de biodisponibilidade.

Outro fator importante a ser considerado é a viscosidade da formulação, a qual interfere na formação de gotas esféricas. Quando a viscosidade é baixa, menos energia ou menor pressão são aplicadas, ao passo que um material de viscosidade elevada impede a formação adequada das gotas durante a pulverização (SOARES, 2002), propiciando aumento no tamanho de partícula, devido à formação de gotículas maiores (FOSTER, 1995).

LIOFILIZAÇÃO

Um método de secagem que minimiza as perdas das características sensoriais e das qualidades nutricionais dos alimentos é a liofilização ou “freeze drying”, na qual o alimento é inicialmente congelado e depois a água é retirada por sublimação.

O primeiro estágio da liofilização é, portanto, o congelamento do alimento. Em alimentos líquidos, como a polpa do açaí, o congelamento lento é usado para formar uma rede de cristais de gelo que originam canais para o movimento do vapor de água (FELLOWS, 2006), evitando assim a formação de um estado vítreo que causa dificuldade na transferência de massa do vapor na etapa de sublimação.

O segundo estágio é a sublimação da água, que exige alto vácuo, visto que a pressão deve estar abaixo do ponto triplo da água, que é 610,5 Pa (< 4,5 mmHg), e o suprimento de calor equivalente ao calor latente de vaporização que pode ser conduzido através do alimento ou produzido por micro-ondas (FELLOWS, 2006).

Ambas as operações são mais lentas que as convencionais de desidratação e os custos energéticos tanto para a refrigeração como para a produção de vácuo são altos, se constituindo num desafio tecnológico para a viabilização do processo.

O sistema de liofilização é constituído de câmara de resfriamento para congelamento do material a ser seco e dos liofilizadores propriamente ditos, que consistem de câmara a vácuo com bandejas para conter o alimento durante a secagem e aquecedores para suprir o calor latente de sublimação. Serpentinhas de refrigeração são usadas para reter os vapores, preferencialmente em forma de gelo, e bombas de vácuo removem os vapores não condensáveis.

EXTRAÇÃO COM FLUIDOS SUPERCRÍTICOS (EFS)

A extração de produtos de um substrato sólido com fluidos supercríticos é uma operação semelhante à extração sólido-líquido em equipamentos conhecidos como difusores, onde o líquido é forçado através do sólido, de baixo para cima, ocupando todos os espaços vazios do leito. O solvente dissolve facilmente o soluto acessível, mas, em muitos casos, para alcançá-lo tem de penetrar nas paredes celulares, principalmente de materiais vegetais,

onde nem sempre é vantajosa a trituração. O solvente gasoso supercrítico tem a vantagem das suas propriedades físicas, como pode ser visto na Tabela 2 (DE FILIPI, 1982).

Tabela 2. Comparação entre as propriedades de gás, líquido e fluido supercrítico

Estado	Densidade (g/cm ³)	Difusividade (cm ² /s)	Viscosidade (g/cm s)
Gás			
P = 1 atm	(0,6 - 2,0) x 10 ⁻³	0,1 - 0,4	(1 - 3) x 10 ⁻⁴
T = 15 - 30°C			
Supercrítico			
P = P _C , T = T _C	0,2 - 0,5	0,7 x 10 ⁻³	(1 - 3) x 10 ⁻⁴
	0,4 - 0,9	0,2 x 10 ⁻³	(3 - 9) x 10 ⁻⁴
P = 4 P _C , T = T _C			
Líquido			
P = 1 atm	0,6 - 1,6	(0,2 - 2,0) x 10 ⁻⁵	(0,2 - 3,0) x 10 ⁻²

O solvente supercrítico ideal para extração de produtos alimentares é sem dúvida o CO₂, devido às seguintes características (RIZVI et al., 1986):

- É completamente inerte com respeito aos produtos a serem extraídos de matéria-prima vegetal, ao corpo humano e a ele próprio, nas condições de operação;
- Seu ponto crítico está a 31°C e 73 bar, que são condições relativamente moderadas, permitindo operações à temperaturas relativamente baixas e minimizando o custo de compressão do solvente;
- É barato, atóxico, não inflamável e está facilmente disponível em alta pureza.

ETAPA DE EXTRAÇÃO

A EFS é feita colocando-se o solvente, em condições apropriadas de temperatura e pressão, em contato com a matéria-prima. Se for um sólido, usa-se dentro do extrator um leito fixo do material através do qual flui o gás e, se for um líquido, pode ser feita uma alimentação

em contracorrente.

Em qualquer dos casos, os fatores determinantes do processo são o poder de solubilização e a seletividade do solvente com relação aos componentes de interesse, e a capacidade de difusão desses no fluido. A complexidade química de muitos ingredientes alimentares e sua vulnerabilidade para reagir e degradar a temperaturas elevadas também devem ser levadas em consideração na seleção do solvente.

Na etapa de extração, a solubilidade deve ser entendida como a quantidade de soluto que pode ser solubilizado nas condições de operação e geralmente deve ser obtida experimentalmente. A metodologia experimental mais comumente usada envolve processos dinâmicos, com o solvente passando através de um leito de sólido contendo o soluto, e estáticos, onde o solvente é posto em contato com o soluto durante tempo suficiente para se saturar.

Outra característica importante é a distribuição das substâncias extraíveis no substrato sólido. As substâncias podem estar adsorvidas no material inerte, dentro dos poros ou nas células da matéria-prima. Cada uma dessas diferentes distribuições tem alguma influência sobre o curso da extração. Somada a isto está a estrutura do material.

Portanto, uma grande variedade de parâmetros tem de ser considerada na modelagem da extração de substância de substrato sólido, particularmente no caso de produtos vegetais, onde o extrato é uma mistura complexa de substâncias que além de terem solubilidades diferentes, interagem entre si e podem estar ligadas à matriz sólida de formas diferentes. A velocidade de extração depende da solubilidade de cada constituinte e da mistura como um todo no solvente, bem como das condições hidrodinâmicas e dos parâmetros de transporte. Desta forma, pode-se postular que a extração de compostos solúveis de material vegetal sólido com fluido supercrítico acontece em vários passos (BRUNNER, 1994):

- 1 - A matriz sólida absorve o solvente supercrítico, dilatando a estrutura das células ou alargando as membranas das células e os canais intercelulares, diminuindo a resistência à transferência de massa;
- 2 - Em paralelo, os compostos extraíveis são dissolvidos pelo solvente. No caso de misturas complexas, haverá uma variação na solubilidade a partir do momento em que as substâncias mais solúveis forem se esgotando;
- 3 - Os compostos dissolvidos se transferem dentro do sólido para a superfície, tendo a difusão como principal mecanismo de transferência de massa;
- 4 - Os compostos dissolvidos atravessam a superfície externa, podendo aí ocorrer uma mudança de fase;
- 5 - Os compostos são transferidos da superfície para o seio do solvente supercrítico e em seguida são removidos do extrator.

ETAPA DE SEPARAÇÃO

A separação dos constituintes solubilizados no fluido supercrítico no extrator pode ser feita por redução do poder solvente desse fluido ou aplicando-se um agente de separação de massa. Como o poder solvente do fluido supercrítico é, em geral, reduzido com o decréscimo da densidade, a forma de separação mais comum é a redução da densidade pela diminuição da pressão ou pelo aumento da temperatura. No entanto, a definição da forma de separação depende da natureza dos constituintes envolvidos no processo. A separação de cafeína

da fase CO₂ saindo do extrator, por exemplo, é mais complicada do que usando-se uma simples redução de pressão. Isto porque a cafeína dissolvida está bem abaixo do seu limite de solubilidade e necessitaria de uma redução muito alta da pressão para ser precipitada, inviabilizando o processo. Neste caso, duas opções são descritas na literatura: absorção com água e adsorção em carvão ativado (MCHUGH; KRUKONIS, 1994). A absorção com água é uma alternativa viável porque a cafeína é hidrófila e forma hidrato com a água, podendo, portanto, ser reaproveitada, enquanto que a adsorção em carvão ativado, apesar de ser uma alternativa para a retirada de quantidades residuais de soluto do solvente, tem sua separação do adsorvente dificultada (BRUNNER, 1994).

No caso de óleos vegetais, o procedimento mais utilizado é a redução do poder de solvatação do fluido. Após estabelecer condições termodinâmicas de solubilidade reduzida, uma fase condensada é formada e separada da fase gasosa remanescente, em um ou mais separadores operados em condições idênticas ou diferentes. Pode ser assumido que um equilíbrio de fases é aproximadamente alcançado nos separadores, contanto que a vazão do solvente não seja muito alta, tendo-se um tempo de residência suficientemente longo. Nos separadores usados em instalações experimentais, o tempo de residência está em torno de 80-200 segundos (BRUNNER, 1994).

Para prever as condições de separação é necessário conhecer o comportamento de fases do sistema com respeito às curvas de ponto de bolha e ponto de orvalho. Somado a isto é conveniente representar a quantidade de soluto dissolvido no solvente e também a quantidade do solvente dissolvido na fase rica em soluto, sobre um diagrama de equilíbrio de fases. Esse diagrama pode ter várias formas, dependendo das propriedades das moléculas de soluto e solvente. Na literatura, são mostrados até cinco tipos de comportamento de fase, classificados de acordo com a forma de suas curvas críticas (SCHNEIDER, 1978; KING; BOTT, 1993). O sistema CO₂/óleo vegetal está classificado no tipo que mostra somente miscibilidade parcial líquido/líquido sobre uma substancial faixa de temperatura acima da temperatura crítica do CO₂, apresentando um “loop” aberto; no diagrama pressão/composição, até cerca de 80°C (KING; BOTT, 1993).

Os diagramas de fase são construídos a partir de medidas experimentais, com o auxílio de modelos termodinâmicos desenvolvidos com a utilização de equações de estado.

AÇÁI SECO DESENGORDURADO

SECAGEM DA POLPA DE AÇÁI POR PULVERIZAÇÃO

A matéria-prima (suco de açaí) a ser processada foi adquirida no comércio da capital do Estado do Pará, oriunda de extração industrial e apresentando um teor médio de 14% de sólidos, sendo a mesma classificada como tipo A (açaí grosso ou especial), de acordo com a legislação brasileira estabelecida pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa). Os resultados apresentados na Tabela 3 mostram as características físico-químicas da polpa do açaí pasteurizado obtidas através de análises seguindo os métodos AOAC e AOCS, onde se pode observar um alto teor de lipídeos e fibras na sua composição. O teor de antocianinas

foi medido segundo do pH diferencial (ROGEZ, 2000) que se baseia em diluições em tampões pH 1,0 e 4,5 seguido de leituras no espectrofotômetro em dois comprimentos de onda, 514 e 700 nm. Em 514 nm há a absorbância máxima e em 700 nm são detectados os interferentes, evitando assim que estes prejudiquem a quantificação de antocianinas. A diluição em dois pH diferentes é devida à mudanças de estabilidade que as antocianinas sofrem diante da alteração de pH. Em meios ácidos elas se encontram a forma de sais de ozônio e são geralmente da cor vermelha. O aumento do pH permite que elas passem a ter uma estrutura quinoidal e cor púrpura, e em meio alcalino a cor muda para azul.

Tabela 3. Composição centesimal da polpa de açaí pasteurizado.

Componente	Valor
Água**	85,7 ± 0,7
Proteínas*	15,9 ± 0,1
Lipídeos*	41,9 ± 0,9
Fibras totais*	16,4 ± 0,4
Cinzas*	4,2 ± 0,4
Antocianinas*	0,42 ± 0,05

* % Base seca ** % Base úmida

Para a secagem da polpa de açaí foi utilizado o equipamento “*Spray Dryer Niro Atomizer*” (Mod. Mobile Minor, DK) com disco rotativo e pressão do ar de 6 kgf/cm², instalado no Laboratório de Agroindústria da Embrapa Amazônia Oriental. A alimentação do equipamento foi realizada com o auxílio de uma bomba dosadora peristáltica (Milan, Mod. BP-601, BR).

O atomizador de disco rotativo apresentou bom desempenho, levando em consideração a viscosidade e quantidade de fibras existente no produto processado. Estudos divulgados na literatura envolvendo a desidratação da polpa do açaí descrevem que alguns equipamentos possuem dificuldade de processar tal produto, visto que as fibras, existentes na polpa, entopem as saídas do atomizador, gerando uma menor vazão do produto. A alternativa para evitar tais problemas foi promover a diluição da polpa em água ou a filtração da polpa para remover o excesso de fibra (TONON, 2009). Neste estudo, não foi necessária a adoção de nenhuma das duas alternativas, pois o equipamento disponível não apresentou tais problemas.

A vazão de alimentação é um fator importante durante o processamento. Vazão alta resultava em perda de matéria-prima, pois a polpa se depositava nas paredes do equipamento sem que a mesma estivesse completamente desidratada, desse modo, foi estabelecida a vazão média de 3,75 g/min.

Para a seleção das condições de temperatura do ar de entrada e quantidade de maltodextrina a ser usada, foi feito um estudo preliminar desses parâmetros. Tomou-se como base o estudo realizado por Tonon (TONON, 2009), que de forma semelhante fez secagem por pulverização utilizando a polpa de açaí filtrada a vácuo, com reduzido teor de sólidos totais e lipídeos.

A avaliação das condições foi realizada considerando-se o teor de antocianina no produto obtido, visto que o rendimento é praticamente o mesmo, em torno de 80%, apresentando leve aumento com o aumento da quantidade do agente carreador e da temperatura. Os resultados foram analisados através de um programa estatístico, indicando que, das condições estudadas, a que obteve maior quantidade de antocianina após o processamento foi a de 140°C com concentração de maltodextrina de 5%, mostrando um valor médio de concentração de antocianinas, em base seca, de 2,5 mg/g. A condição que mostrou-se menos eficiente quanto à conservação das antocianinas foi a de 160°C e com concentração de 10% de maltodextrina.

Através dos resultados, foi possível verificar a forte influência da temperatura do processamento sobre a antocianina, mostrando que o aumento da viscosidade, que está relacionada com a quantidade adicionada de maltodextrina, influencia também no processo, possivelmente pelo fato de que a polpa mais viscosa tende a escoar mais lentamente, formando uma nuvem de gotículas de tamanho maior, fazendo com que o seu contato com a alta temperatura do processamento seja maior do que em polpas menos viscosas. Porém, deve-se levar em consideração que a distância percorrida pela gotícula no interior do equipamento é igual para todas as viscosidades. Desse modo, gotículas maiores não são totalmente secas, ocasionando, assim, o depósito das mesmas, ainda úmidas, ao redor do equipamento.

Para a verificação do efeito do agente carreador (maltodextrina), foram realizados experimentos de secagem da polpa de açaí sem maltodextrina à temperatura de 140°C para o ar de entrada, mantendo-se as outras condições de vazão de alimentação de ar e de produto e pressão no atomizador. O rendimento obtido ficou em torno de 80% e o teor médio de antocianina foi de 2,7 mg/g, mostrando que nesse aspecto a influência do agente carreador é muito pequena. Com relação às outras propriedades, o teor de água residual foi maior e o teor de lipídeos menor no produto com maltodextrina.

DESIDRATAÇÃO DA POLPA DE AÇAÍ POR LIOFILIZAÇÃO

A liofilização é o mais nobre processo de conservação de produtos, pois envolve os dois métodos existentes mais confiáveis: congelamento e desidratação. Para ser liofilizado, o produto deve ser primeiramente congelado a uma temperatura bem baixa, para depois ser submetido a uma pressão negativa (vácuo), fazendo com que a água do produto seja retirada por sublimação, ou seja, passe diretamente do estado sólido para o estado gasoso, sem passar pelo estado líquido. Suas características originais são preservadas (tamanho, textura, vitaminas, sais minerais, sabor, aroma, etc.), sendo reconstituída pela simples adição de água, voltando a ser o produto original, *in natura*.

A matéria-prima usada nos experimentos de liofilização feitas no LAOS/ITEC/UFPA foi suco de açaí obtido no comércio varejista de Belém, apresentando as características mostradas na Tabela 4. A amostra de polpa já descongelada foi colocada em frascos especiais do liofilizador e, em seguida, tais frascos foram colocados em freezer comercial marca Electrolux (Mod. H400, BR) na temperatura de -26,4°C, por 24 horas, para que se garantisse que a amostra estivesse totalmente congelada e com a temperatura uniforme em todos os pontos para dar início à liofilização.

Tabela 4. Características da polpa do açaí usada na liofilização.

Propriedade	Valor
Densidade à 27°C (g/cm ³)	0,40 ± 0,00
Viscosidade à 13°C (cP)	58,70 ± 0,01
Brix (° Brix)	5,92 ± 0,59
Teor de água (%)	79,8 ± 0,1
Sólidos totais (%)	20,2 ± 0,1
Cinzas	4,25 ± 0,03

A desidratação foi realizada no liofilizador marca Terroni (Mod. LS6000, BR), na pressão de 120 µmHg, e o condensador na temperatura de -51°C, por 72 horas, para garantir que toda a amostra fosse liofilizada. Vale destacar que esse tempo foi determinado em experimentos preliminares com 24, 48 e 72 horas. Ao término do processo, a polpa encontrava-se totalmente em pó dentro dos frascos, que em seguida foram pesados para cálculo da quantidade de água sublimada e sólidos totais finais.

Pôde-se perceber que o teor de água pós-liofilização foi reduzido em mais de 95%, resultando em um produto seco e com baixíssimo teor de água, mostrando a eficiência da liofilização e prevenindo o açaí de possíveis degradações. Na Tabela 5, estão apresentadas as características do pó de açaí liofilizado, onde se pode perceber um alto teor de lipídeos que torna esse produto altamente calórico, como demonstra o valor energético. Outros autores como Rogez (2000) e Menezes (2005) encontraram percentuais de lipídeos semelhantes de 52,6 e 42,7% da matéria seca de polpa de açaí. Essas diferenças são consideradas naturais quando a matéria-prima é de origem vegetal e decorrem da variedade da planta, da época da colheita dos frutos, do processamento industrial e/ou das condições de condicionamento e armazenamento, visando sua conservação (FREITAS, 2008).

Além disso, o alto teor de proteínas e de minerais é conservado, demonstrado pelo teor de cinzas. O teor de antocianina é superior ao apresentado no açaí usado no processo de secagem por pulverização, o que pode ser devido às características da matéria-prima usada, que apresentou um teor de sólidos superior, além de não haver degradação devido ao uso de temperaturas baixas.

Tabela 5. Características físico-químicas do açaí liofilizado.

Característica	Valor
Teor de água (%)	4,01 ± 0,01
Cinzas (%)	3,98 ± 0,16
Lipídeos (%)	50,89 ± 0,02
Proteínas (%)	19,59 ± 0,01
Carboidratos totais (%)	21,59 ± 0,00
Valor energético (kcal/kg)	6.227,3 ± 0,0
Colorimetria (ΔE)	36,77 ± 0,01
pH	5,25 ± 0,00
Antocianinas totais (mg/g)	5,51 ± 0,01
Atividade de água (Aw)	0,253 ± 0,01

EXTRAÇÃO SUPERCRÍTICA DO AÇAÍ LIOFILIZADO

As extrações do óleo do açaí em pó liofilizado com CO₂ foram feitas numa Planta de Extração instalada no Laboratório de Operações de Separação/ITEC/UFPA. Um fluxograma simplificado do equipamento é mostrado na Figura 1 (FRANÇA, 1999). O dióxido de carbono com 99,9% de pureza (S.A. White Martins) é levado à pressão requerida e depois circulado por um compressor de membrana (HOFFER, Alemanha) através de um leito fixo de material sólido (açaí liofilizado) de 6,0 cm de diâmetro e 15 cm de altura, envolto num saco de tecido de algodão, dentro do vaso extrator (6,0 cm de diâmetro e 36 cm de altura). A mistura soluto/solvente é expandida no vaso separador, onde o óleo é coletado num tubo de ensaio que é removido a cada intervalo de tempo e pesado. O dióxido de carbono expandido passa através de um medidor de volume de gás e depois é expelido para a atmosfera. A pressão é medida por um manômetro tipo Bourdon (Wika, mod. DIN.S, 0-400 bar, 10 bar) e a temperatura é monitorada por um termopar NiCr/Ni.

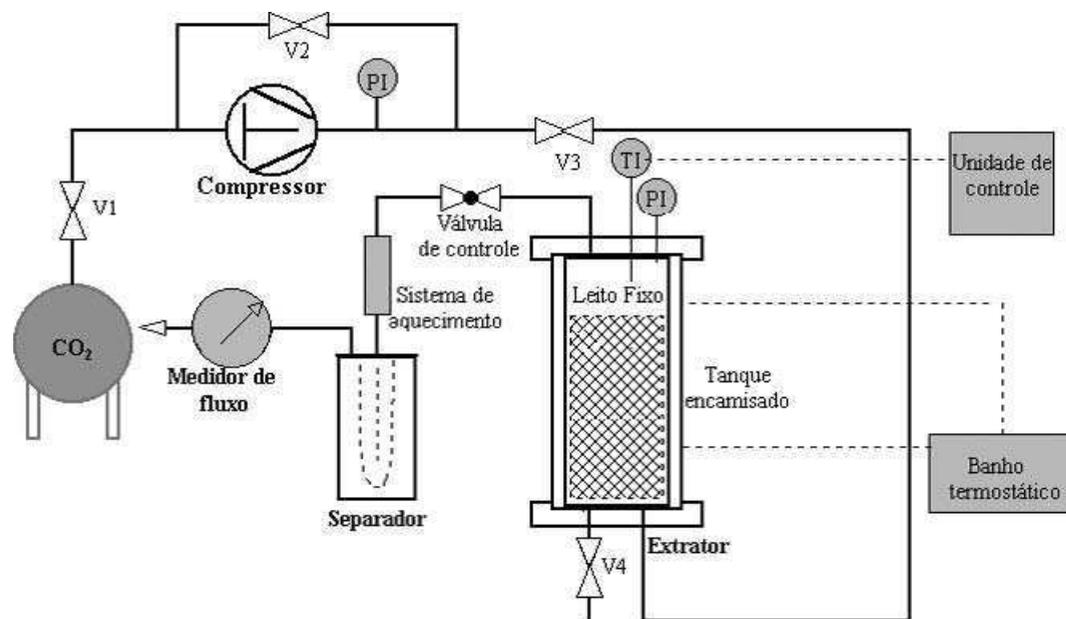


Figura 1. Fluxograma do equipamento de extração com fluido supercrítico (FRANÇA, 1999).

Foram usados cerca de 0,100 kg de açaí liofilizado em cada experimento, mantendo-se no extrator uma pressão de 300 bar e temperatura de 50°C, a uma vazão de CO₂ de $2,5 \times 10^{-4}$ kg/s. Ao final da extração, o material sólido era pesado e a perda de massa era comparada com a quantidade de óleo total das alíquotas, observando-se uma diferença de 10% da massa original de açaí liofilizado.

ANÁLISES DOS PRODUTOS

O produto sólido obtido após as extrações supercríticas (açaí em pó liofilizado e desengordurado) foi caracterizado pelas análises de teor de água, lipídeos e antocianinas totais, e depois acondicionado em frascos de vidro com tampa rosqueada e armazenado em condições ambientes para posteriores análises de antocianina e microbiológica.

O óleo extraído foi caracterizado pelas análises de viscosidade, densidade, clorofila, colorimetria, teor de água e os índices de acidez, saponificação, peróxido e refração. Além disso, foi feita uma análise cromatográfica dos ésteres metílicos para definição da qualidade do óleo extraído, o qual foi embalado em frasco de vidro rosqueado e armazenado sob refrigeração, em refrigerador doméstico, para utilização futura na reconstituição.

RESULTADOS OBTIDOS E CONCLUSÕES

O teor de lipídeos no açaí em pó obtido após a extração supercrítica registrou valor inferior a 1%, demonstrando que todo o óleo pode ser extraído com CO₂ nestas condições. A cinética da extração mostrou um comportamento linear em mais de 90% do curso da extração, ou seja, praticamente todo o óleo foi extraído com taxa de extração constante. Isto indica que o óleo no açaí liofilizado é facilmente acessado pelo solvente e o processo é controlado pela solubilidade do óleo, podendo, portanto o tempo de extração ser definido pelo arranjo da vazão de CO₂ com a área da seção reta do leito.

O teor de água se manteve no mesmo valor enquanto que a concentração de antocianinas aumentou em virtude da redução de mais de 50% da massa de sólido relativo à quantidade de óleo extraída, registrando um valor médio de 12,7 mg/g, demonstrando ser um processo que não promove a degradação do antioxidante mais importante do açaí.

O óleo extraído tem características semelhantes às do azeite de oliva, como pode ser visto pelos dados apresentados na Tabela 6, obtidos pela análise dos óleos extraídos do açaí em pó liofilizado com CO₂ supercrítico.

Tabela 6. Características físico-químicas do óleo de açaí.

Característica	Valor
Índice de saponificação (mgKOH/g)	189 ± 3
Índice de peróxido (mEq/kg)	1,16 ± 0,25
Índice de acidez (mgKOH/g)	1,77 ± 0,01
Índice de refração	1,46 ± 0,00
Densidade (g/cm ³) à 27°C	0,907 ± 0,00
Teor de água (%)	0,22 ± 0,03
Viscosidade (cSt) à 40°C	41,3 ± 0,1
Colorimetria (ΔE)	29,50 ± 0,01
Clorofila (mg/kg)	877 ± 0,0

Pode-se perceber que a densidade e o índice de refração estão próximos às exigências da Anvisa para o azeite de oliva, onde esses valores se situam em 0,910 g/cm³ e 1,4691, respectivamente. O índice de saponificação se situa na faixa exigida de 184-196 mgKOH/g. Já para o índice de acidez e peróxido, análises de qualidade de óleos, os valores exigidos dependem muito do tipo de azeite, mas esses dados são de 1-3 mgKOH/g e 1-3 mEq/kg óleo, estando o óleo de açaí dentro deste intervalo.

O óleo obtido apresentou 76,2% de ácidos graxos insaturados, 61,3% de monoinsaturados, 14,9% de poliinsaturados e 23,8% de saturados. Estes resultados revelam condições atraentes desse fruto para o mercado de alimentos funcionais. O uso de matérias-primas ricas em ácidos graxos monoinsaturados e poliinsaturados é de grande interesse para as indústrias de alimentos e bebidas que buscam alternativas para elaboração de produtos mais saudáveis.

ESTABILIDADE DO AÇAÍ EM PÓ DESENGORDURADO

O açaí liofilizado e desengordurado via extração por CO₂ supercrítico após 6 e 12 meses armazenado em condições ambientais e acondicionamento em fracos de vidro com tampa rosqueada foi analisado a fim de se quantificar a concentração de antocianina e verificar a atividade de água e a condição microbiológica. Os resultados são apresentados na Tabela 7, onde se pode observar um aumento na atividade de água, provavelmente porque a umidade relativa do ar no ambiente é sempre superior a 70% no local de armazenagem, mas somente alcançando o valor crítico de 0,6, que pode iniciar uma ação microbiana, após 12 meses.

Tabela 7. Comportamento do açaí em pó desengordurado armazenado.

Análise	6 meses	12 meses
Microbiológica: Salmonela SP	Ausência	Ausência
Coliforme	Ausência	Ausência
Bolor	>15 UFC/g	-
Atividade de água (a _w)	0,57	0,62
Antocianina	8,0 mg/g	7,9 mg/g

O teor de antocianina foi reduzido nos primeiros seis meses em cerca de 1/3 do seu valor inicial, mas manteve este valor no final de 12 meses.

Após 12 meses, o açaí em pó desengordurado foi usado para reconstituição de uma bebida com padrão definido como médio, com 12% de sólidos, ou seja, utilizou-se 12 g de açaí em pó diluído em 88 mL de água mineral.

O açaí mostrou elevada miscibilidade em água, apresentando apenas a formação de pequenas bolhas de ar devido a homogeneização, as quais dispersaram-se após a mistura permanecer

em repouso durante alguns minutos. Após a sua reconstituição, o açaí voltou a apresentar um aspecto viscoso com aroma e cor do açaí *in natura*.

Quando a mistura do açaí reconstituído entrou em repouso, notou-se a formação de uma fração líquida ao redor da amostra. Tal fração apresentava baixa viscosidade, evidenciando que a mistura não consegue manter a sua homogeneidade por um tempo superior a 15 minutos, ou seja, parte da água usada na diluição desprende-se da porção que possui viscosidade mais elevada, provavelmente pela ausência dos lipídeos que promove uma dispersão das fibras. Assim, foram preparadas três amostras, acrescentando-se o equivalente a 5% de óleo de açaí em uma delas, 10% em outra, e a última permanecendo sem óleo. Uma análise da viscosidade, realizada num reômetro Brooksfiels de sistema de placas, mostrou que a viscosidade absoluta diminui com o aumento do teor de óleo, tendo-se valores de 32,4, 29,1 e 17,8 Pa.s para as amostras sem óleo, com 5% e com 10% de óleo respectivamente. Isto comprova que, com a adição de óleo, as fibras tornam-se mais dispersas no meio, fazendo com que o contato entre as mesmas ocorra com menor intensidade, diminuindo assim a viscosidade.

Referências

- BRUNNER, G. **Gas Extraction: An Introduction to Fundamentals of Supercritical Fluids and the Application to Separation Processes**. 1st Ed. Darmstadt: Steinkopff, 1994.
- CAL, K.; SOLLOHUB, K. Spray drying technique. I: Hardware and process parameters. **Journal of Pharmaceutical Sciences**, Washington, v. 99, p. 575-586, 2010.
- DE FILIPI, R. P. CO₂ as a solvent: Application to fats, oils and other materials. **Chemistry and Industry**, London, v. 12, p. 390-394, 1982.
- EINBOND, L.; REYNERTSON, K.; LUO, X.; BASILE, M.; E KENNELLY, E. Anthocyanin antioxidants from edible fruits. **Food Chemistry**, London, v. 84, p. 23-28, 2004.
- FELLOWS, P. J. **Tecnologia do Processamento de Alimentos: Princípios e Prática**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006.
- FOSTER, T. P.; LEATHERMAN, M. W. Powder characteristics of proteins spray-dried from different spray-dryers. **Drug Development and Industrial Pharmacy**, New York, v. 21, p. 1705-1723, 1995.
- FRANÇA, L. F.; REBER, G.; MEIRELES, M. A. A.; MACHADO, N. T.; BRUNNER, G. Supercritical extraction of carotenoids and lipids from Buriti (*Mauritia flexuosa*) a fruit of the amazon region. **The Journal of Supercritical Fluids**, New York, v. 14, p. 247-258, 1999.
- FRANÇA, L. F. **Estudo do Aproveitamento dos carotenos das fibras resultantes da prensagem na indústria de óleo de palma, pela extração com CO₂ supercrítico**. 1999. Tese (Doutorado) - FEA/UNICAMP, Campinas, 1999.
- GALLORI, S.; BILIA, A.; BERGONZI, M.; BARBOSA, W.; E VINCIERI, F. Polyphenolic constituents of fruit pulp of *Euterpe oleracea* Mart. (Açaí palm). **Chromatographia**, New York, v. 59, p. 739-743, 2004.
- HASSIMOTO, N. M. A.; GENOVESE, M. I.; LAJOLO, F. M. Antioxidant activity of dietary fruits, vegetables, and commercial frozen fruit pulps. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 53, p. 2928-2935, 2005.
- KING, M. B.; BOTT, T. R. **Extraction of Natural Products using Near-critical Solvents**. Glasgow, UK: Blackie Academic & Professional, 1993.
- KONG, J.; CHIA, L.; GOH, N.; CHIA, T.; E BROUILLARD, R. Analysis and biological activities of anthocyanins. **Phytochemistry**, Oxford, v. 64, p. 923-933, 2003.
- MCHUGH, M. A.; KRUKONIS, V. J. **Supercritical Fluid Extraction: Principles and Practice**. 2nd ed. Newton, USA: Butterworth-Heinemann, 1994.

MENEZES, E. M. S. **Efeito da alta pressão hidrostática em polpa de açaí pré-congelada (*Euterpe oleracea* Mart.)**. 2005. Dissertação (Mestrado) - PGCTA/UFRRJ, Seropédica, 2005.

NASCIMENTO, R. J. S.; COURI, S.; ANTONIASSI, FREITAS, S. P. Composição em ácidos graxos do óleo da polpa de açaí extraído com enzimas e com hexano. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 30, p. 498-502, 2008.

POZO-INSFRAN, D.; BRENES, C.; TALCOTT, S. Phytochemical composition and pigment stability of açaí (*Euterpe oleracea* Mart.). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 52, p. 1539-1545, 2004.

RIZVI, S. S. H.; DANIELS, J. A.; BENADO, A. L.; ZOLLWEG, J. A. Supercritical fluid extraction: operating principles and food applications. **Food Technology**, Chicago, v. 40, p. 57-64, 1986.

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

ROGEZ, H. **Açaí: Preparo, Composição e Melhoramento da Conservação**. Belém, PA: EDUFPA, 2000.

SCHAUSS, A. G.; WU, X.; PRIOR, R. L.; OU, B.; HUANG, D.; OWENS, J.; AGARWAL, A.; JENSEN, G. S.; HART, A. N.; SHANBROM, E. Antioxidant capacity and other bioactivities of the freeze-dried amazonian palm berry, *Euterpe oleracea* Mart. (Acai). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 54, p. 8604-8610, 2006.

SCHNEIDER, G. M. Physicochemical principles of extraction with supercritical gases. **Angewandte chemie & angewandte chemie international edition in english**, Weinheim, v. 17, p. 716-727, 1978.

SOARES, L. A. L. **Obtenção de comprimidos contendo alto teor de produtos seco por aspersão de *Maytenus ilicifolia* Mart. ex. Reissek - Celastraceae. Desenvolvimento de produtos intermediários e final**. 2002. Tese (Doutorado) - FCF/UFGRS, Porto Alegre, 2002.

TONON, R. V. **Secagem por atomização do suco de açaí: Influência das variáveis de processo, qualidade e estabilidade do produto**. 2009. Tese (Doutorado) - FEA/UNICAMP, Campinas, 2009.

WANG, H.; CAO, G.; E PRIOR, R. Oxygen radical absorbing capacity of anthocyanins. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 45, p. 304-309, 1997.

WALLE, T. Absorption and metabolism of flavonoids. **Free Radical Biology & Medicine**, New York, v. 36, p. 829-837, 2004.