

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E SECAGEM DE FRUTOS DE
TUCUMÃ (*Astrocaryum aculeatum* Meyer): AVALIAÇÃO DA
PRESERVAÇÃO DE SUAS PROPRIEDADES FUNCIONAIS

MICHELE BEZERRA SILVA

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE

DARCY RIBEIRO – UENF

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ

AGOSTO – 2016

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E SECAGEM DE FRUTOS DE
TUCUMÃ (*Astrocaryum aculeatum* Meyer): AVALIAÇÃO DA
PRESERVAÇÃO DE SUAS PROPRIEDADES FUNCIONAIS

MICHELE BEZERRA SILVA

Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Victor Haber Perez

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ

AGOSTO – 2016

FICHA CATALOGRÁFICA

Preparada pela Biblioteca do CCT / UENF

184/2016

Silva, Michele Bezerra

Caracterização físico-química e secagem de frutos de tucumã (*Astrocaryum aculeatum* Meyer) : avaliação da preservação de suas propriedades funcionais / Michele Bezerra Silva. – Campos dos Goytacazes, 2016.

66 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) -- Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias. Laboratório de Tecnologia de Alimentos. Campos dos Goytacazes, 2016.

Orientador: Victor Haber Perez.

Área de concentração: Tecnologia de alimentos e constituintes químicos vegetais.

Bibliografia: f. 62-66.

1. (*Astrocaryum aculeatum* Meyer 2. TUCUMÃ 3. CONSERVAÇÃO DE ALIMENTOS 4. SECAGEM 5. β -caroteno I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias. Laboratório de Tecnologia de Alimentos II. Título

CDD 584.5

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E SECAGEM DE FRUTOS DE
TUCUMÃ (*Astrocaryum Aculeatum* Meyer): AVALIAÇÃO DA
PRESERVAÇÃO DE SUAS PROPRIEDADES FUNCIONAIS

MICHELE BEZERRA SILVA

Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

Aprovada em 08 de agosto de 2016

Comissão examinadora:

Prof.^a Karla Silva Ferreira (Dr.^a. Ciência e Tecnologia de Alimentos) – UENF

Prof.^a Nádia Rosa Pereira (Dr.^a. Engenharia de Alimentos) – UENF

Prof. Romildo Martins Sampaio (Dr. Engenharia de Alimentos) – UFMA

Prof. Víctor Haber Pérez (Dr. em Engenharia de Química) – UENF
(Orientador)

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida;

A Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro e ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, pela oportunidade de realização deste curso;

Ao meu orientador, Victor Haber Perez, pela oportunidade, compreensão, incentivo e por todos os ensinamentos;

À professora Nádia Rosa Pereira, por tornar possível a realização deste trabalho, por meio do tempo dispensado com ensinamentos e por disponibilizar o laboratório para execução das secagens;

Aos professores Karla Silva Ferreira e Luciano Pasqualoto Canellas, por abrirem as portas dos seus laboratórios, nos quais realizei etapas importantes das minhas análises, sendo sempre muito bem recebida. Meu muito obrigada!

À minha orientadora de graduação, Kátia Danielle Araújo Lourenço Viana, por me ajudar a chegar até aqui, por todo incentivo, ajuda, por todos os ensinamentos, pela amizade e carinho. És um exemplo para mim!

Aos meus pais, Maria da Graça Pereira Bezerra e Alzemir Carvalho Silva, por me ensinarem tudo de mais precioso, por serem amor, conforto e por trazerem ao mundo aqueles que são preciosidade para mim, meus irmãos: Milena Bezerra Silva e Raphael Bruno Bezerra Silva. Amo vocês!

Ao meu noivo, Marlon Gomes da Costa, por ser meu maior incentivador, por ter o dom de me acalmar, por todo cuidado e amor;

Aos amigos do laboratório, Cristilane Macharete de Andrade, Darlielva do Rosário Freitas, Dayana Freitas dos Santos Dias, Diana Catalina Cubides Román, Euripedes Garcia Silveira Junior, Geraldo Ferreira David, Leonardo Campos Ramirez, Nathalia Ribeiro Ferreira da Silva, Thays da Costa Silveira e Torquato Ferreira Pinheiro, por toda ajuda, pelos risos, pelas conversas aleatórias, por compartilharem momentos de aflição e felicidade. Vocês são os melhores! Fizeram parte de uma etapa muito importante para mim e, com certeza, foi muito mais fácil contando com todos vocês!

Às companheiras de república, Cristilane Macharete de Andrade, Emile Caroline Silva Lopes, Nathânia de Sá Mendes, pela parceria, pelos momentos de distração e risadas. Foi muito bom ter compartilhado este tempo com vocês!

Aos companheiros de curso, especialmente a Ana Raquel Cardoso Avelar, por estar comigo desde o início e me acompanhar em todos os momentos, e a Letícia Tinoco Gonçalves, pela ajuda nos momentos de crise, os estudos e conversas;

A todos que contribuíram para concretização deste trabalho, muito obrigada!

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABELAS	x
RESUMO	xii
ABSTRACT	xiv
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS	3
2.1. Objetivo geral	3
2.2. Objetivos específicos	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1. Tucumã	4
3.2. Secagem como método de conservação	8
3.3. Modelos de secagem	10
4. MATERIAL E MÉTODOS	12
4.1. Materiais.....	12
4.2. Pré-processamento da matéria-prima	13
4.3. Caracterização físico-química do fruto de tucumã	13
4.3.1. Cor do mesocarpo e epicarpo do tucumã	13

4.3.2. Aspectos morfométricos e de rendimento do fruto do tucumã	14
4.3.3. Composição centesimal do epicarpo e mesocarpo do tucumã	15
4.3.4. Perfil de ácido graxo do mesocarpo do tucumã	15
4.3.5. Índice de acidez, pH e sólidos solúveis do epicarpo e mesocarpo do tucumã	15
4.3.6. Teor de Carotenoides expressos como β -caroteno	16
4.3.7. Atividade de água	17
4.4. Etapa de secagem dos frutos de tucumã	17
4.4.1. Planejamento experimental da etapa de secagem	17
4.4.2. Secador	17
4.4.3. Operação de secagem	19
4.5. Análise estatística	20
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
5.1. Resultados da análise de coloração dos frutos	22
5.2. Aspectos morfométricos dos frutos	25
5.3. Caracterização físico-química das frações do mesocarpo e epicarpo de tucumã.....	27
5.4. Secagem do mesocarpo de tucumã.....	33
5.4.1. Cinética de secagem do mesocarpo	35
5.4.2. Ajuste de modelos matemáticos para descrever a secagem do mesocarpo de tucumã.	37
5.4.3. Caracterização físico-química das amostras de mesocarpo após a secagem	40
5.4.4. Planejamento de experimentos para avaliar os efeitos das variáveis temperatura de secagem e grupos nos ensaios de desidratação do mesocarpo de tucumã.	43
5.5. Secagem do epicarpo	46
5.5.1. Cinética de secagem do epicarpo de tucumã	48

5.5.2. Ajuste de modelos matemáticos para descrever a secagem do epicarpo de tucumã.	50
5.5.3. Caracterização físico-química das amostras de epicarpo após secagem...	54
6. CONCLUSÕES.....	59
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	60

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Fruto de tucumã: a) fruto inteiro, b) fruto seccionado, mostrando o epicarpo, pirênio e mesocarpo, c) detalhe do mesocarpo e d) detalhe do pirênio.....5
- Figura 2. Curva de velocidade de secagem em função do teor de umidade.9
- Figura 3. Classificação dos frutos conforme a coloração do epicarpo: a) grupo 1 (G1), b) grupo 2 (G2) e c) grupo 3 (G3)..... 13
- Figura 4. Esquema ilustrativo do equipamento de secagem convectivo de leito fixo, utilizado neste trabalho. Símbolos: (1) ventilador centrífugo, (2) válvula globo, (3) sistema de resfriamento, (4) aquecedor elétrico, (5) termopar, (6) cesto da amostra, (7) câmara de secagem com geometria cilíndrica, (8) termohigrômetro, (9) painel de controle de temperatura. 18
- Figura 5. Amostras do mesocarpo e epicarpo de tucumã in natura submetidas à secagem: a) epicarpo grupo 1, b) epicarpo grupo 2, c) epicarpo grupo 3, d) mesocarpo grupo 1, e) mesocarpo grupo 2, f) mesocarpo grupo 3..... 19
- Figura 6. Composição de ácidos graxos das frações do fruto de tucumã *Astrocaryum aculeatum* Meyer: a) referente ao óleo extraído do mesocarpo; b) referente ao óleo extraído do epicarpo.....32
- Figura 7. Monitoramento da performance do sistema de secagem durante a desidratação do mesocarpo de tucumã: a) temperatura do ar de entrada (°C), b) temperatura do ar no leito (°C) e c) umidade relativa do ar na saída (%) da câmara de secagem. Símbolos:■ mesocarpo G3 a 50°C, □

- mesocarpo G3 a 60°C, ● mesocarpo G1 a 50°C, ○ mesocarpo G1 a 60°C, Δ mesocarpo G2 a 55°C.....34
- Figura 8. Monitoramento do ar ambiente durante a desidratação do mesocarpo de tucumã: a) temperatura do ar ambiente (°C) e b) umidade relativa do ar ambiente (%). Símbolos: ■ mesocarpo G3 a 50°C, □ mesocarpo G3 a 60°C, ● mesocarpo G1 a 50°C, ○ mesocarpo G1 a 60°C e Δ mesocarpo G2 a 55°C.34
- Figura 9. Curvas de secagem do mesocarpo de tucumã para os diferentes grupos: a) G2 a 55 °C em triplicata, b) G1 e G3 a 50 e 60 °C e c) todos os ensaios. Símbolos: ■ mesocarpo G3 a 50 °C, □ mesocarpo G3 a 60 °C, ● mesocarpo G1 a 50 °C, ○ mesocarpo G1 a 60°C, Δ mesocarpo G2 a 55 °C.36
- Figura 10. Curvas de taxa de secagem do mesocarpo de tucumã em função da temperatura de secagem e dos grupos: a) média e desvio padrão do G2 a 55 °C, b) G1 e G3 a 50 e 60 °C e c) todos os ensaios Símbolos: ■ mesocarpo G3 a 50 °C; □ mesocarpo G3 a 60 °C; ● mesocarpo G1 a 50 °C; ○ mesocarpo G1 a 60 °C; Δ mesocarpo G2 a 55 °C.37
- Figura 11. Ajuste das curvas de secagem do mesocarpo de tucumã ao modelo de Page: a) dados referentes a 60°C para mesocarpo G2, b) resultados para 50 e 60°C do mesocarpo G3 e G1 e c) todas as condições experimentais. Símbolos: ■ mesocarpo G3 a 50°C; □ mesocarpo G3 a 60°C; ● mesocarpo G1 a 50°C; ○ mesocarpo G1 a 60°C; Δ mesocarpo G2 a 55 °C.40
- Figura 12. Resultados do efeito da temperatura de secagem e grupos sobre a composição de β-caroteno após desidratação do mesocarpo de tucumã, em nível de confiança de 90 % (p<0.1). Símbolos: □ efeito positivo e ■ efeito negativo.....44
- Figura 13. Superfície de resposta para teor de β-caroteno em função da temperatura de secagem e dos grupos avaliados no mesocarpo de tucumã, em nível de confiança de 90 % (p<0.1).....46
- Figura 14. Monitoramento da performance do sistema de secagem durante a desidratação do epicarpo de tucumã: a) temperatura do ar de entrada (°C), b) temperatura do ar do leito (°C) e c) umidade relativa do ar de saída (%). Símbolos: ■ epicarpo G3 a 50°C, □ epicarpo G3 a 70°C, ● epicarpo G1 a 50°C, ○ epicarpo G1 a 70°C, Δ epicarpo G2 a 60°C.47

- Figura 15. Monitoramento do ar ambiente durante a desidratação do epicarpo de tucumã: a) temperatura do ar ambiente (°C) e b) umidade relativa do ar ambiente (%). Símbolos: ■ epicarpo G3 a 50°C, □ epicarpo G3 a 70°C, ● epicarpo G1 a 50°C, ○ mesocarpo G1 a 70°C e Δ epicarpo G2 a 60°C...48
- Figura 16. Curvas de umidade adimensional em função do tempo do epicarpo de tucumã em diferentes grupos: a) curva do ponto central do planejamento experimentos (G2 a 60°C), b) curva do epicarpo G3 e G1 nas temperaturas de 50 e 70°C e c) curvas de todas as condições experimentais. Símbolos: ■ epicarpo G3 a 50°C, □ epicarpo G3 a 70°C, ● epicarpo G1 a 50°C, ○ epicarpo G1 a 70°C, Δ epicarpo G2.49
- Figura 17. Curvas de taxa de secagem do epicarpo de tucumã em função da temperatura de secagem e dos grupos: a) curva do ponto central do planejamento experimentos (G2 a 60°C), b) curva do epicarpo G3 e G1 nas temperaturas de 50 e 70°C, c) curvas de todas as condições experimentais. Símbolos: ■ epicarpo G3 a 50°C; □ epicarpo G3 a 70°C; ● epicarpo G1 a 50°C; ○ epicarpo G1 a 70°C; Δ epicarpo G2 a 60 °C.50
- Figura 18. Adequação das curvas de secagem do epicarpo de tucumã ao modelo de Page: a) dados referentes a 60°C para epicarpo G2, b) resultados para 50 e 60°C do epicarpo G3 e G1 e c) todas as condições experimentais. Símbolos: ■ epicarpo G3 a 50°C; □ epicarpo G3 70°C; ● epicarpo G1 a 50°C; ○ epicarpo G1 a 70°C; Δ epicarpo G2 a 60 °C.53
- Figura 19. Resultados do efeito da temperatura de secagem e dos grupos sobre a composição de β-caroteno após desidratação do epicarpo de tucumã, em nível de confiança de 90 % ($p < 0.1$). Símbolos: □ efeito positivo e ■ efeito negativo.57
- Figura 20. Superfície de resposta para teor de β-caroteno em função da temperatura de secagem e dos grupos no epicarpo do fruto de tucumã em nível de confiança de 90 % ($p < 0.1$).58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Aspectos morfométricos dos frutos de tucumã (<i>Astrocaryum aculeatum</i> Meyer).	6
Tabela 2. Composição química e valor energético em 100 g do mesocarpo de <i>Astrocaryum aculeatum</i> Meyer	7
Tabela 3. Planejamento experimental para secagem do mesocarpo e epicarpo de tucumã.....	17
Tabela 4. Modelos matemáticos utilizados para avaliar a adequação às curvas de secagem.....	20
Tabela 5. Cor do epicarpo dos frutos de tucumã em diferentes grupos (G1, G2 e G3).	23
Tabela 6. Cor do mesocarpo dos frutos de tucumã para os diferentes grupos considerados (G1, G 2 e G3).	24
Tabela 7. Aspectos morfométricos dos frutos de tucumã nos grupos estudados. 26	
Tabela 8. Caracterização físico-química dos frutos de tucumã em diferentes grupos analisados	31
Tabela 9. Valores dos parâmetros de modelos ajustados para as curvas de secagem do mesocarpo de tucumã.....	39
Tabela 10. Atividade de água e teor de umidade nos diferentes ensaios com mesocarpo.....	41
Tabela 11. Teores de β -caroteno do mesocarpo de tucumã in natura e desidratado, em base seca e percentual de preservação no produto pós-secagem.	43

Tabela 12. Matriz experimental com os resultados do planejamento 2 ² , com três pontos centrais, durante a secagem convectiva do mesocarpo de tucumã sob velocidade do ar constante de 10,5 m/s.	43
Tabela 13. Resultados da análise de variância (ANOVA) para o modelo que ajusta a curvatura referente ao teor de β -caroteno, em função da temperatura e dos grupos na secagem do mesocarpo de tucumã, em nível de confiança de 90 % ($p < 0.1$).....	45
Tabela 14. Valores dos parâmetros de modelos para secagem do epicarpo de tucumã.....	52
Tabela 15. Atividade de água e teor de umidade nos diferentes ensaios com epicarpo.....	54
Tabela 16. Teores de β -caroteno do epicarpo de tucumã in natura e desidratado, em base seca e percentual de retenção no produto pós-secagem.	55
Tabela 17. Resultados do planejamento 2 ² , com três pontos centrais, para secagem convectiva do epicarpo de tucumã sob fluxo constante de 10,5 m/s.....	56
Tabela 18. Resultados da análise de variância (ANOVA) para variável tempo de secagem da casca, em nível de confiança de 90%.....	57

RESUMO

A região amazônica abriga uma ampla variedade de frutas com aromas e sabores exóticos, com potencial econômico e uma perspectiva de valorização importante para a região. Um exemplo disto é o tucumã (*Astrocaryum aculeatum* Meyer), palmeira originária do Brasil, com distribuição no Peru, Colômbia, Guiana e Venezuela. No Brasil, os frutos desta palmeira possuem alta aceitação nos locais de ocorrência, embora pouco tenha sido feito para sua melhor exploração. Deste modo, o objetivo deste estudo foi avaliar as características físico-químicas e o pré-processamento dos frutos, por meio da secagem das frações, epicarpo e mesocarpo, dos frutos de tucumã (*Astrocaryum aculeatum* Meyer), visando à preservação de suas propriedades funcionais. Os frutos foram obtidos no mercado de Manaus, estado de Amazonas, Brasil, e classificados quanto à coloração alaranjada do epicarpo: Grupo 1 (G1) = coloração menos intensa, Grupo 2 (G2) = intermediário e Grupo 3 (G3) = coloração do epicarpo mais intensa. Foram analisados os aspectos de rendimento de mesocarpo (polpa) e caracterização físico-química, incluindo o teor de β -caroteno. A etapa de secagem foi conduzida em secador de leito fixo usando ar quente. Os ensaios de secagem seguiram um planejamento experimental fatorial completo 2^2 , com três pontos centrais. As variáveis independentes consideradas foram: X1- grupos de classificação pela cor do epicarpo (G1, G2 e G3) e X2- temperatura do ar de secagem (50, 55 e 60°C para os ensaios realizados com mesocarpo e 50, 60 e 70 °C para o epicarpo). Após secagem, as amostras foram submetidas a análises de atividade de água, umidade

e teor de β -caroteno. A caracterização morfológica revelou que os frutos possuem dimensões variáveis, com baixo rendimento de mesocarpo. Além disso, as composições do mesocarpo e epicarpo evidenciaram altos teores de β -caroteno, proteínas e lipídios. A análise do perfil de ácidos graxos mostrou que o ácido graxo majoritário foi o ácido oleico. Quando comparadas as frações do fruto, o óleo obtido do epicarpo apresentou maior percentual de monoinsaturados, porém com menor quantidade de ácidos graxos saturados com perfil aterogênico do que o mesocarpo. De maneira geral, as secagens proporcionaram redução de umidade até alcançar valores de atividade de água em níveis desejáveis em todos os ensaios. As retenções de β -caroteno se mantiveram em níveis satisfatórios após as secagens, com valores mínimos de 63%. A degradação de β -caroteno apresentou relação com o binômio tempo e temperatura nos ensaios de secagens. Pôde-se concluir que, apesar do baixo rendimento, os frutos de tucumã apresentaram potencial nutritivo, com altos teores de β -caroteno, proteínas e lipídios. As secagens foram eficientes para conservação do produto mantendo altos percentuais de β -caroteno, demonstrando ser alternativa tecnológica para a conservação do produto processado e conseqüentemente resultando em um produto de maior valor agregado. Modelos matemáticos foram ajustados para modelar as cinéticas de secagem, sendo o de Page o que apresentou melhor performance. Estes resultados são importantes para o desenvolvimento de equipamentos de secagem e adoção de parâmetros de processo de secagem em escala de planta piloto ou industrial.

Palavras-chave: Secagem, *Astrocaryum aculeatum* Meyer, tucumã, conservação de alimentos, β -caroteno.

ABSTRACT

The Amazon region has a wide range of fruit flavored and exotic flavors, with economic potential and an important valuation perspective for the region such as tucum (*Astrocaryum aculeatum Meyer*) an original palm tree from Brazil that can also be found in Peru, Colombia, Guyana and Venezuela. In Brazil, the fruits of this palm have a high acceptance in the places of occurrence, although little has been done to its best use. Thus, the aim of this study was to evaluate the physicochemical characteristics and pre-processing of the tucum fruits by drying seeking preservation of their functional properties. The fruits were obtained from Manaus market, State of Manuas, Brazil, and classified according to orange color of the epicarp as Group 1 (G1) = less intense color, Group 2 (G2) = intermediate and Group 3 (G3) = coloring epicarp more intense. In addition, physico-chemical characterization, including β -carotene content were also carried out. The drying step was carried out in fixed bed dryer using hot air according to a full factorial design 2^2 with three central points. The drying time was kept constant for all experiments at 60 min and the independent variables were: X1- classified groups by skin color or ripeness G1 (-1 low level) , G2 (0 central level and G3 (+1 high level) and X2- temperature of the drying air 50 (-1 low level), 55 (0 central level) and 60 °C (+1 high level) for assays performed to both, mesocarp and epicarp. After drying, the samples were subjected to analysis of water activity and β -carotene content. Morphological characterization showed that the fruits have variable dimensions with low pulp yield in the mesocarp. Additionally, the mesocarp and epicarp compositions showed high levels of lipids,

protein, β -carotene and the profile of fatty acids containing predominantly oleic acid. In general, the drying provided moisture reduction to achieve water activity values to desirable levels in almost all tests, except for the G1 pulp. There was a decrease in the carotenoid content after drying but not associated with temperature; ie, higher temperatures may be used to further reduction in the drying time without affect the carotenoid content. It was concluded that despite the low yield, the fruits of tucum presented nutritional potential, with high levels of lipids, protein, β -carotene. The drying process was efficient to preserve the product with high β -carotene content, being an attractive alternative technology for the conservation of the processed product and consequently, resulting in a product with high added value. Mathematical models were adjusted to modeling the drying kinetic for tucum fruits. Thus, Page's model presented the best performance according to R^2 and Chi square. These results can be important to project of dryers and define operational parameters to scale up at pilot plant level or industrial scale.

Keywords: drying, *Astrocaryum aculeatum* Meyer, tucuma, food preservation, β -carotene.

1. INTRODUÇÃO

A Amazônia possui uma ampla variedade de espécies frutíferas com potencial econômico e nutricional, embora pouco explorados. Um exemplo disto, é o tucumã, *Astrocaryum aculeatum* Meyer, palmeira originária do Brasil, cuja distribuição geográfica abrange os estados do Amazonas, Acre, Rondônia, Roraima e Pará, podendo ser encontrada também em outros países da América do Sul, tais como: Peru, Colômbia (Costa et al., 2011; Lorenzi et al., 2010), Guiana e Venezuela (Lorenzi et al., 2010).

O fruto dessa espécie possui formato oval ou esférico, com coloração do epicarpo verde amarelado. O mesocarpo apresenta aspecto fibroso, oleoso, com coloração amarelo-alaranjado (FAO, 1986). A composição do mesocarpo é bem descrita, sendo caracterizada pela alta densidade calórica, alto teor de lipídios, proteínas, fibras e β -caroteno. Com relação à caracterização do epicarpo, estudos ainda são escassos, possivelmente por se tratar de resíduo agroindustrial pouco explorado na cadeia alimentar.

Os frutos de tucumã possuem alta aceitação nos locais de ocorrência, apresentando crescente demanda no mercado de Manaus. O consumo do mesmo se dá de forma in natura ou como recheio de sanduíche (X-Caboquinho), tapiocas, cremes e sorvetes (Yuyama et al., 2008).

As formas de comercialização do tucumã ocorrem com pouco ou nenhum beneficiamento, consistindo, basicamente: na venda do fruto ou venda da polpa (mesocarpo). Sua comercialização é marcadamente direcionada a feiras livres,

mercados e pontos estratégicos de venda nas ruas de Manaus, onde pode ser encontrado durante todo o ano (Costa et al., 2011) .

Segundo Didonet (2012), o mercado de tucumã, por se dirigir principalmente à exploração do mesocarpo, gera grandes quantidades de detritos durante a comercialização. De acordo com o referido autor, a quantidade de resíduo (epicarpo e endocarpo) produzida por meio da comercialização nas feiras de Manaus entre os anos de 2011 e 2012 alcançou 268,5 toneladas.

Além dos resíduos gerados, a falta de condições adequadas para comercialização de tucumã também gera perdas altas e recorrentes (Didonet e Ferraz, 2014). A vida de prateleira de *Astrocaryum aculetaum* Meyer é curta, 3 a 4 dias, constituindo fruto de alta perecibilidade (FAO, 1986).

Um dos métodos mais antigos de conservação pós-colheita de vegetais é a secagem. A mesma é definida como a remoção de substâncias voláteis, principalmente água, por meio da aplicação de calor, a fim de se obter um produto sólido (Keey, 1972). Esta operação possibilita uma maior estabilidade ao produto, por meio da prevenção de crescimento e reprodução de microrganismos indesejáveis; além de facilitar a manipulação, por meio da redução no peso do produto e do volume, diminuição da embalagem e dos custos de armazenamento e transporte (McMinn e Magee, 1999).

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Avaliar as características físico-químicas e funcionais, bem como, o potencial da secagem como estratégia de pré-processamento do mesocarpo e epicarpo do tucumã (*Astrocaryum aculeatum* Meyer), visando aumentar a vida de prateleira e agregar valor à fruta in-natura.

2.2. Objetivos específicos

- Caracterizar os frutos de tucumã quanto a aspectos morfométricos e de rendimento, características físico-químicas, perfil de ácidos graxos e teor de β -caroteno;
- Avaliar a cinética de secagem convectiva do mesocarpo e epicarpo de tucumã em leito fixo nas diferentes condições de temperatura do ar de secagem;
- Ajustar diferentes modelos matemáticos aos dados experimentais de secagem do mesocarpo e epicarpo de tucumã;
- Caracterizar mesocarpo e epicarpo secos, quanto a atividade de água, umidade e teor e retenção de β -caroteno;
- Analisar o efeito da secagem convectiva em leito fixo no teor de β -caroteno do mesocarpo e epicarpo do tucumã.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Tucumã

Conhecida popularmente como tucumã ou tucumã-do-amazonas, *Astrocaryum aculeatum* Meyer é uma palmeira originária do Brasil, cuja distribuição geográfica abrange os estados do Amazonas, Acre, Rondônia, Roraima e Pará, podendo ser encontrada também em outros países da América do Sul, tais como: Peru, Colômbia (Costa et al., 2011; Lorenzi et al., 2010), Guiana e Venezuela (Lorenzi et al., 2010).

A. aculeatum Meyer é descrita como palmeira alta (podendo alcançar 25 m), solitária, adaptada a solos pobres, secos e degradados, sendo comumente encontrada em florestas secundárias, atingindo densidade de 50 árvores por hectare. O desenvolvimento desta palmeira é lento, a germinação das sementes ocorre em um intervalo de 8 meses a 2 anos, enquanto a frutificação ocorre em um período de 8 anos (FAO, 1986)

A frutificação do tucumã ocorre, predominantemente, entre os meses de fevereiro e agosto, podendo ocorrer também nos meses de outubro e novembro. Uma palmeira produz em média 4 cachos por ano. Cada cacho contém em média cerca de 240 frutos, podendo variar entre 35 a 750 cachos. A quantidade de frutos por cacho também pode diferir em função do período do ano. Uma maior produção pode ser registrada entre os meses de janeiro e abril em comparação com os meses de julho e agosto, em que é cerca de 41% menor (Moussa e Kahn, 1997).

O fruto dessa espécie (Figura 1) é classificado como drupa, possuindo formato oval ou esférico, com coloração do epicarpo verde amarelado. O mesocarpo apresenta aspecto fibroso, oleoso, com coloração amarelo-alaranjada (FAO, 1986).

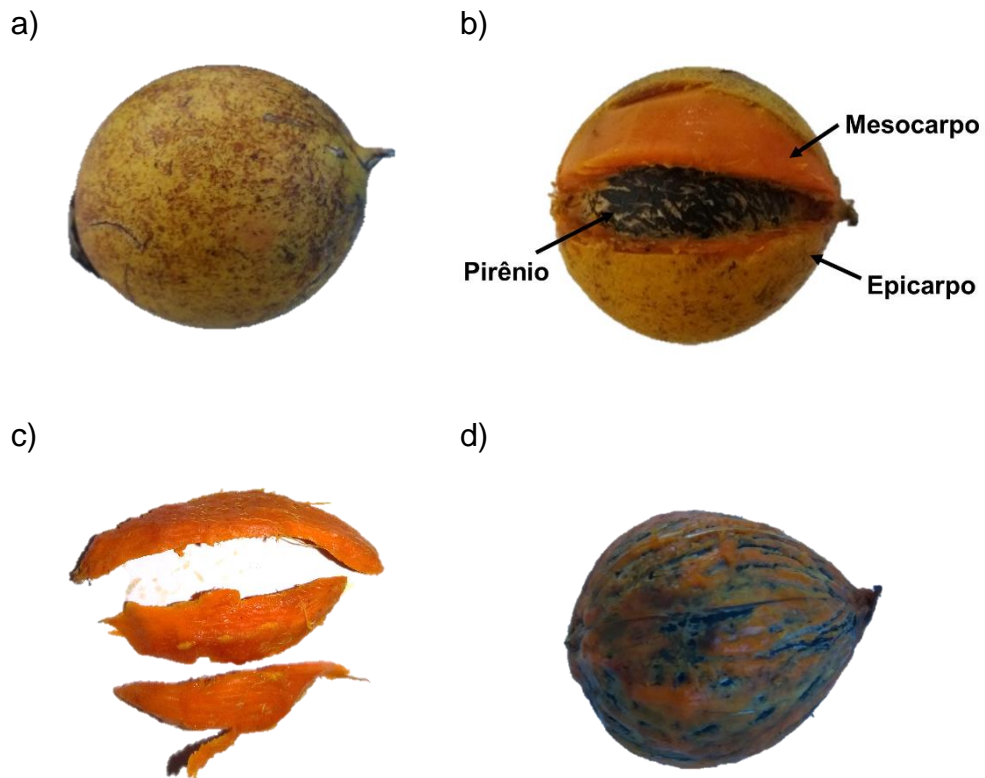


Figura 1. Fruto de tucumã: a) fruto inteiro, b) fruto seccionado, mostrando o epicarpo, pirênio e mesocarpo, c) detalhe do mesocarpo e d) detalhe do pirênio.

As dimensões dos frutos são variáveis. Estudos reportam comprimento médio de 4 a 6 cm, com largura de 3 a 5 cm e massa de cerca de 50 gramas (com frutos que podem variar de 19 a 90 gramas). O rendimento médio de polpa, normalmente é baixo, atingindo uma média de 22 a 26%, com valores extremos de 15 a 37% como ilustrado na Tabela 1.

Ainda que o rendimento da polpa não seja elevado, o fruto possui potencial nutritivo. Tucumã é caracterizado pela alta densidade calórica, alto teor de lipídios, proteínas, fibras e carotenos (Tabela 2).

Tabela 1. Aspectos morfométricos dos frutos de tucumã (*Astrocaryum aculeatum* Meyer).

Parâmetros	Referências					
	Moussa e Kahn (1997)	Schroth et al. (2004)	Yuyama et al. (2005)	Leitão (2008)	Elias (2011)	FAO (1986)
Comprimento do fruto (mm)	57 (42-62)	–	–	45 (35-53)	43-46	
Diâmetro do fruto (mm)	42 (34-51)	–	–	42 (32-50)	37-42	
Massa do fruto (g)	48 (26-76)	53 (19 -90)	–	47 (20-73)	32-45	45 (20-100)
Massa do epicarpo (g)	9 (5-12)	–	–	8 (7-13)	–	
Massa do mesocarpo (g)	10 (6-21)	–	–	9 (3-18)	–	
Massa do pirênio (g)	–	–	–	30 (12-44)	–	
Espessura do mesocarpo (mm)	4 (2-5)	–	–	2 (1,4-2,7)	–	
Mesocarpo (%)	22 (15-33)	26 (16-37)	22	–	–	25 (13-35)
Epicarpo (%)	–	–	17	–	–	
Pirênio (%)	–	–	61	–	–	

Tabela 2. Composição química e valor energético em 100 g do mesocarpo de *Astrocaryum aculeatum* Meyer.

Composição	Yuyama et al. (2008)	Hall et al. (1980)	FAO ¹ (1986)
Valor energético (Kcal)	363	–	–
Proteína (g)	4	2,4-2,7*	9 (6-16)
Lipídio (g)	32	–	55 (17-75)
Umidade (g)	48	55	–
Cinza (g)	1,3	–	–
Carboidrato (g)	14	–	–
Fibra (g)	–	–	–
Carotenoides (µg)	10286	–	3500**

*faixa de valores calculados a partir do fator de 5,47 e 6,25, respectivamente.

**composição expressa em base seca.

Embora possua alto teor lipídico, o tucumã é rico em ácidos graxos monoinsaturados, reconhecidamente benéficos à saúde. Mambrim e Barrera-Arellano (1997), ao avaliarem o perfil de ácidos graxos da polpa de tucumã, encontraram 73% de ácidos graxos insaturados, sendo 65% deles referente ao C18:1.

Além disto, a despeito do conteúdo de aminoácidos, um estudo realizado por Hall et al. (1980) demonstrou altos teores de aminoácidos essenciais, com exceção dos aminoácidos sulfurados: cisteína, cistina, tirosina e histidina. De acordo com estes autores, 100 gramas de tucumã suprem 17 a 26% das necessidades diárias de aminoácido não sulfurado para um adulto jovem.

Yuyama et al. (2008), ao avaliarem o teor de β -caroteno na polpa de tucumã, reportaram teores entre 300 e 500% acima de produtos tradicionalmente ricos neste componente, como a cenoura e a abóbora.

Além dos atributos nutricionais, o fruto de tucumã é bastante apreciado em seu local de ocorrência. O mercado de tucumã tem crescente demanda na cidade

de Manaus, onde atingiu sua popularidade por meio do crescimento dos “cafés regionais”, no qual são servidos alimentos tradicionais locais, dentre os mais populares o X-Caboquinho – sanduíche recheado com fatias de tucumã (Costa et al., 2011). Além deste, a polpa é apreciada e consumida pela população na forma in natura ou como recheio de tapiocas, cremes e sorvetes (Yuyama et al., 2008).

As formas de comercialização do tucumã consistem, basicamente, na venda do fruto ou venda da polpa (mesocarpo). Sua comercialização é marcadamente direcionada a feiras livres, mercados e pontos estratégicos de venda nas ruas de Manaus, onde pode ser encontrado durante todo o ano (Costa et al., 2011) .

A maior parte dos frutos é proveniente da atividade extrativista, fato que é propiciado pela ocorrência natural desta espécie em áreas degradadas (Costa et al., 2011), e também pelo longo tempo de germinação das sementes, que pode chegar a 2 anos (FAO, 1986). Quanto a este último, estudos têm demonstrado que é possível reduzir o período de germinação das sementes de *A. aculeatum* para 104 a 253 dias, por meio de estratégias simples, como remoção do endocarpo e a embebição das sementes (Gentil e Ferreira, 2005; Ferreira e Gentil, 2006; Nazário e Ferreira, 2010).

A vida de prateleira do mesmo é curta, constituindo fruto de alta perecibilidade. Os frutos devem ser consumidos em um prazo de 3 a 4 dias, pois a partir de então começam a secar e apodrecer (FAO, 1986). Segundo Yuyama et al. (2008), a alta perecibilidade do tucumã é explicada em função da oxidação lipídica, que pode ser acarretada devido ao alto teor deste componente no fruto. Além disto, a falta de condições adequadas de armazenamento durante a comercialização do tucumã causa perdas altas e recorrentes (Didonet e Ferraz, 2014).

3.2. Secagem como método de conservação

Um dos métodos mais antigos de conservação pós-colheita de vegetais é a secagem. A mesma é definida como a remoção de substâncias voláteis, principalmente água, por meio da aplicação de calor, a fim de se obter um produto sólido (Keey, 1972). Esta operação possibilita uma maior estabilidade do produto, por meio da prevenção de crescimento e reprodução de microrganismos

indesejáveis; além de facilitar a manipulação, por meio da redução no peso e no volume do produto, diminuição da embalagem e dos custos de armazenamento e transporte (Mcminn e Magee, 1999).

De uma maneira geral, na operação de secagem dois fenômenos agem concomitantemente: transferência de calor e transferência de massa. Para que aconteça a secagem é necessário que o calor seja dissipado por meio de uma fonte até a superfície do elemento a ser seco. O transporte de umidade no interior do sólido, por sua vez, ocorre por meio de mecanismos de difusão líquida, difusão de vapor, difusão de superfície e diferenças de pressão hidrostática, ou ainda devido à interação de todos os fatores citados (Jangam et al., 2010).

A partir da evolução dos fenômenos de transferência de calor e massa durante a secagem, sob condições fixas, pode ser obtida uma curva com a umidade (expressa em quilograma de água por quilograma de sólido seco) como uma função da taxa de secagem (expressa em quilogramas de água por hora por quilograma de sólido seco). Esta curva (Figura 2), tipicamente, pode apresentar períodos distintos, como segue:

- Período I₀. Período que pode ser inobservável. Constitui um período de rápida taxa de secagem que pode tanto ser ascendente como descendente;
- Período I. Caracterizado por uma taxa de secagem constante. Corresponde à umidade livre;
- Período II. Neste ponto conhecido como umidade crítica (X_c) a velocidade de secagem decresce em forma linear ou não linear com a redução no teor de umidade;
- Período III. Possui características que o assemelham ao período II, por isso muitas vezes são indistinguíveis, embora a taxa de secagem seja diferente (Brown et al., 1950).

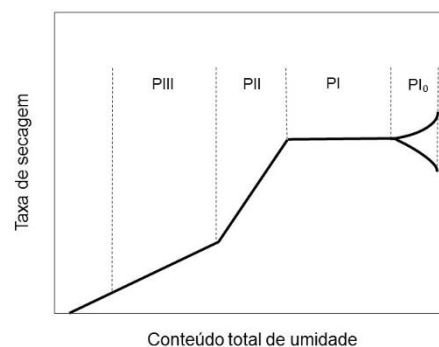


Figura 2. Curva de velocidade de secagem em função do teor de umidade.

Fonte: Adaptado de Brown et al., 1950.

Segundo Jagam et al. (2010), a curva típica pode variar conforme o produto a ser secado e as condições de secagem. Ainda, segundo os autores, períodos de taxa constante não são encontrados na maioria dos produtos agrícolas.

Brown et al. (1950) afirmam que ao final de uma operação de secagem a velocidade da perda de umidade torna-se zero. O limite que um dado material pode ser seco é definido como teor de umidade equilíbrio. Fatores que influenciam a umidade de equilíbrio, incluem a natureza do material sólido, a temperatura do meio de secagem e a pressão parcial de vapor de água no meio de secagem.

3.3. Modelos de secagem

Modelagem é uma ferramenta para representar processos ou fenômenos, a fim de explicar os dados observados experimentalmente e prever o comportamento sob diversas circunstâncias (Mulet, 1994). Segundo Mcmin e Magee (1999), modelos matemáticos fornecem subsídios necessários tanto para elaboração de projeto, operação e otimização quanto para o controle de um processo de secagem.

Os modelos matemáticos usados para secagem em camada fina são tradicionalmente divididos em três tipos: teórico, empírico e semiempírico. O modelo teórico leva em conta apenas a resistência interna à transferência de massa e deriva da segunda lei de difusão de Fick (Henderson, 1974; Suarez et al., 1980; Bruce, 1985; Parti, 1993). Modelos empíricos são caracterizados por depender fortemente das condições experimentais e negligenciar fundamentos do processo de secagem (Keey, 1972). A expressão semiempírica ou semi-teórica, por sua vez, oferece facilidade de uso e precisa de menos pressupostos, devido à utilização de alguns dados experimentais. São derivados de duas leis físicas: segunda lei de Fick, tendo como exemplo o modelo exponencial com dois parâmetros (Henderson e Pabis) e lei de Newton do resfriamento, como os modelos de Newton (Lewis) e Page (Erbay e Icier, 2010).

De acordo com Lewis (1921), a transferência de massa em materiais higroscópicos porosos durante o período de secagem à taxa decrescente pode ser descrita utilizando-se a Lei de Newton para o resfriamento. Assumindo-se que, a

camada do material seja suficientemente fina e as condições da temperatura e a umidade relativa do ar de secagem sejam mantidas constantes. O modelo de Lewis é representado pela Equação (1), também conhecida como Lei Exponencial ou Modelo Logaritmo de secagem ou modelo de Newton.

$$\frac{X_t - X_e}{X_0 - X_e} = e^{-kt} \quad (1)$$

em que, X_t é o conteúdo de umidade média (base seca) no instante de tempo de secagem t ; X_0 e X_e as umidades iniciais e de equilíbrio, respectivamente; k é a constante da taxa de secagem expressa e t = tempo de secagem em horas.

Alguns inconvenientes, entretanto, foram encontrados com o modelo de Lewis (Newton), dentre os quais superestimar a velocidade de secagem no primeiro período da secagem e subestima-lá no último período. A fim de sanar estes inconvenientes, Page (1949), ao estudar a secagem convectiva de grãos de milho em camada fina, propôs a inserção de mais uma constante empírica – n , conforme Equação 2. Os termos k e n dependem do tipo de produto, de sua temperatura e, em alguns casos, da cultivar e da umidade relativa do ar.

$$\frac{X_t - X_e}{X_0 - X_e} = e^{-kt^n} \quad (2)$$

em que, k é a constante de secagem de Page e n é um parâmetro do modelo.

O modelo de Henderson e Pabis (1961), também conhecido como modelo exponencial de dois parâmetros, foi desenvolvido por meio da segunda lei de Fick da Difusão. O coeficiente k neste modelo é dependente da temperatura do ar e dos mecanismos de difusão de água ou vapor d'água no interior das amostras. A forma simplificada da expressão está descrita na Equação 3.

$$\frac{X_t - X_e}{X_0 - X_e} = a \cdot e^{-kt} \quad (3)$$

em que, a e k são as constantes do modelo.

4. MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo consistiu em duas etapas, que incluíram: (I) caracterização morfológica e físico-química das frações (epicarpo e mesocarpo) do tucumã e (II) estudo da secagem, com posterior análise do teor de β -caroteno, umidade e atividade de água dos produtos secos.

As caracterizações morfológicas e físico-químicas dos frutos foram realizadas no Laboratório de Engenharia de Processos e Laboratório de Análise de Alimentos da Universidade Estadual do Norte Fluminense, enquanto o processo de secagem foi conduzido no Setor de Operações Unitárias da referida instituição.

4.1. Materiais

Foram utilizados frutos de tucumã da espécie *Astrocaryum aculeatum* Meyer procedentes do mercado local de Manaus, Amazonas. Os reagentes utilizados nas análises físico-químicas, bem como o padrão de β -caroteno para elaboração de curvas de calibração foram adquiridos por meio da Sigma-Aldrich.

4.2. Pré-processamento da matéria-prima

Tucumãs foram adquiridos em janeiro de 2016 e enviados, via Sedex, para Laboratório de Engenharia de Processos, onde foi procedida a limpeza e sanitização, descartando frutos estragados ou com perfurações.

Os frutos foram agrupados em três grupos, conforme a intensidade da coloração amarelo/avermelhada, a saber: grupo 1 – G1 (epicarpo com menor intensidade de cor amarelo/vermelho), grupo 2 – G2 (intensidade intermediária) e grupo 3 – G3 (maior intensidade de cor amarelo/vermelho). As análises e secagem foram realizadas com base na categorização de cor (Figura 3).

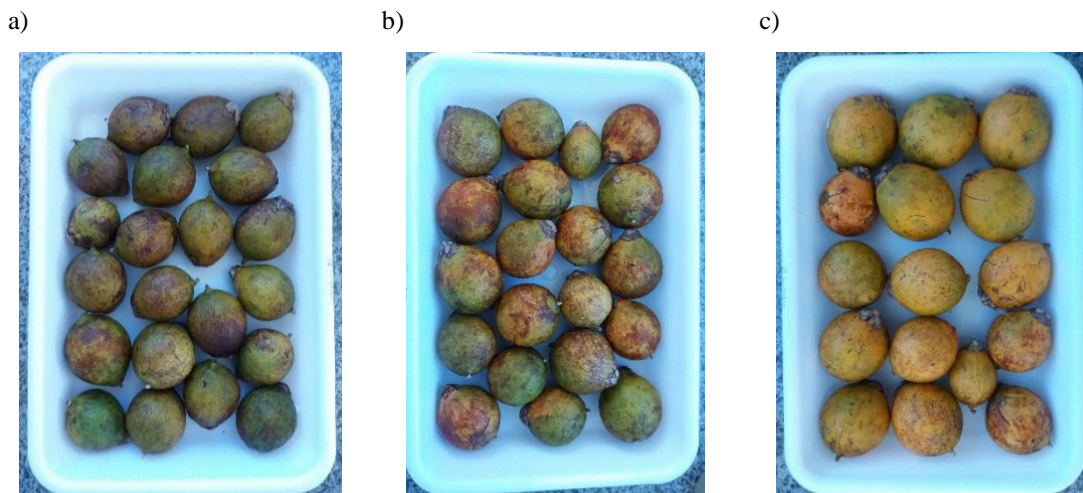


Figura 3. Classificação dos frutos conforme a coloração do epicarpo: a) grupo 1 (G1), b) grupo 2 (G2) e c) grupo 3 (G3).

As amostras seguiram para análise de cor e aspectos de rendimento. Das frações obtidas do mesocarpo e epicarpo, $\frac{1}{4}$ foi homogeneizado e reservado para análises físico-químicas. As amostras foram acondicionadas em embalagens plásticas metalizadas, com massa de amostra registrada, e armazenadas em freezer até análise e procedimento de secagem.

4.3. Caracterização físico-química do fruto de tucumã

4.3.1. Cor do mesocarpo e epicarpo do tucumã

Mensurada em colorímetro da marca Hunterlab Miniscan Spectrophotometer xe Plus, previamente calibrado com placas refletivas de cores preta e branca, com padrão de iluminação D65 e observador com ângulo de 10°.

A medida foi realizada no epicarpo e mesocarpo do fruto in natura. Para o epicarpo foram realizadas quatro medidas em pontos equidistantes, compreendendo o lado exposto e não exposto ao sol. No mesocarpo foram realizadas apenas duas medidas, em pontos equidistantes.

Foi adotado o sistema C.I.E (Commission Internationale de L'Eclairage), em que: L*(claridade) compreende valores de 0 (preto) a 100 (branco); a*(componentes vermelho/verde) inclui valores que vão de positivo (vermelho) a negativo (verde); e b*(componentes amarelo/azul) com valores positivos para amarelo ou negativos para azul. O ângulo Hue (H°), aparência visual da cor, foi calculado conforme Equação 4:

$$H^{\circ} = \tan^{-1} \left(\frac{b^*}{a^*} \right) \quad (4)$$

em que, 0° ou 360° correspondem às cores vermelho-rosa, 90° corresponde ao amarelo, 180° corresponde ao verde, 270° corresponde ao azul (Mcguire, 1992).

4.3.2. Aspectos morfométricos e de rendimento do fruto do tucumã

Foram realizadas aferições dos diâmetros longitudinais e transversais dos frutos, com auxílio de paquímetro digital. O diâmetro longitudinal foi medido a partir do ápice a base do fruto. A medida do diâmetro transversal foi registrada a partir do ponto de maior diâmetro do fruto.

A determinação da massa dos frutos e de suas frações (epicarpo, mesocarpo e pirênio) foi realizada em balança analítica Bel Engineering, após despulpamento manual. O rendimento foi determinado considerando a massa de cada fração do fruto e a massa do fruto inteiro, conforme Equação 5:

$$\% \text{ rendimento} = \frac{\text{Massa da fração do fruto}}{\text{Massa do fruto inteiro}} \times 100 \quad (5)$$

4.3.3. Composição centesimal do epicarpo e mesocarpo do tucumã

As amostras in natura foram analisadas em triplicata. O teor de umidade foi determinado por secagem em estufa a 105°C até peso constante. O conteúdo de cinzas foi obtido por incineração em mufla a 550°C. Proteínas foram calculadas com base nos dados da determinação do teor de nitrogênio, conforme Kjeldahl (1883), com conversão por meio do fator 5,75, referente às proteínas de origem vegetal (A.O.A.C.,1998). O conteúdo de lipídios foi obtido por extração a frio, utilizando clorofórmio, metanol e água como solventes, de acordo com Bligh e Dyer (1959). Os teores de carboidratos foram inferidos por diferença de 100% em relação às demais frações.

4.3.4. Perfil de ácido graxo do mesocarpo do tucumã

O perfil de ácidos graxos foi determinado nas amostras (mesocarpo e epicarpo) de frutos do grupo 1. Os lipídios obtidos por meio da extração por Bligh e Dyer (1959) foram convertidos a ésteres metílicos de ácidos graxos por saponificação e esterificação, conforme metodologia descrita por Maia (1992). A amostra esterificada foi injetada em cromatógrafo a gás, Shimadzu GC – 17A, acoplado a um espectrômetro de massas (EM), Shimadzu GCMS – QP 5050A, com coluna capilar DB – 5MS, 0,25 µm de espessura e 0,25 mm de diâmetro, com detector de ionização de chama, utilizando hélio como gás de arraste. A identificação do perfil de ésteres metílicos da amostra foi realizada comparando-se o tempo de retenção dos ésteres da amostra com o espectro de massa da biblioteca do CG-EM. As condições de operação do cromatógrafo foram: fluxo coluna: 1,7 mL/min; velocidade linear do gás de arraste: 46,9 cm/s; fluxo total: 23,6 ml/min, temperatura do detector: 280 °C; temperatura do injetor: 250 °C; temperatura da coluna: 55 °C – 1 minutos, 55 – 180°C (15 °C/min), 180 – 205°C (1 °C/min), 205 – 280°C (20°C/min) – 5 minutos; gás de arraste: hélio; volume injetado: 1,0 µL.

4.3.5. Índice de acidez, pH e sólidos solúveis do epicarpo e mesocarpo do tucumã

Cerca de 1 g de amostra in natura foi pesado em béquer, diluído com 10 ml de água e agitado para homogeneização. O pH foi medido utilizando um potenciômetro digital Bel Engineering W3B, previamente calibrado, e a análise procedeu conforme instruções do manual do fabricante.

A acidez total foi determinada por titulação com NaOH 0,1 N (AOAC, 1998). Enquanto que, os sólidos solúveis foram determinados no mesocarpo por meio de refratômetro de bancada e expresso em °Brix.

4.3.6. Teor de Carotenoides expressos como β -caroteno

O teor de carotenoides das amostras in natura e após a secagem foi analisado pela metodologia adaptada de Wilberg e Rodriguez-Amaya (1995). A amostra foi homogeneizada com 40 ml de solução extratora etanol-hexano (1:1) em moinho triturador tipo turrax, Marcone MA 102/plus, e submetida à filtração em sistema a vácuo. Este procedimento foi repetido até que o resíduo perdesse a coloração. O filtrado foi transferido para um funil de separação, contendo 25 ml de hexano e 20 ml de água. O conteúdo foi agitado suavemente e, após 20 minutos, a fase aquosa foi retirada e reservada. O procedimento de separação foi repetido com a fase aquosa. O extrato colorido resultante foi concentrado em rotaevaporador a 38 °C e avolumado para 25 ml com hexano.

A quantificação foi realizada por meio de curvas de calibração da solução padrão de β -caroteno (Sigma-Aldrich) de diferentes concentrações (0,4; 0,3; 0,2 e 0,1 g/L). A absorvância foi lida em 450 nm e o resultado expresso em $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ de amostra. A definição do comprimento de onda foi realizada por meio de varredura das soluções padrão em comprimentos de onda entre 400 e 500 nm em espectrofotômetro SHIMADZU, modelo UV-mini 1240. O comprimento de onda 450nm correspondeu ao comprimento de máxima absorvância das soluções.

Para calcular o teor de carotenoides retidos após secagem, foi utilizada a fórmula proposta por Rodriguez-Amaya (2001), conforme Equação 6.

$$\% \text{ retenção} = \frac{\text{teor de carotenoides por g de alimento processado (em base seca)}}{\text{teor de carotenoides por g de alimento in natura (em base seca)}} \times 100 \quad (6)$$

4.3.7. Atividade de água

A atividade de água foi mensurada em triplicata, nas amostras in natura e pós-secagem, por meio de analisador de atividade de água por ponto de orvalho, Aqualab, modelo DEW, 4TEV, Decagon. A preparação da amostra e análise foi realizada conforme instruções do equipamento.

4.4. Etapa de secagem dos frutos de tucumã

4.4.1. Planejamento experimental da etapa de secagem

Os experimentos de secagem do mesocarpo e epicarpo de tucumã (G1, G2 e G3) foram realizados de acordo com um delineamento fatorial 2^2 com três repetições no ponto central, totalizando 7 experimentos para mesocarpo e 7 para epicarpo (Tabela 3). Foram consideradas variáveis independentes a cor do fruto e a temperatura de secagem. A variável dependente foi o teor de β -caroteno.

Tabela 3. Planejamento experimental para secagem do mesocarpo e epicarpo de tucumã.

Ensaio	Valores codificados		Valores reais	
	Cor do fruto	Temperatura (°C)	Cor do fruto	Temperatura (°C) Mesocarpo/ epicarpo
1	-1	+1	Grupo1	60/ 70
2	-1	-1	Grupo1	50/ 50
3	+1	+1	Grupo 3	60/ 70
4	+1	-1	Grupo 3	50/ 50
5	0	0	Grupo 2	55/ 60
6	0	0	Grupo 2	55/ 60
7	0	0	Grupo 2	55/ 60

Todas as secagens foram realizadas com velocidade do ar constante, 10,4 m/s, para ambos os componentes do fruto. O controle do fluxo foi realizado pela válvula globo e monitorado por anemômetro localizado na tubulação de entrada do soprador de ar.

4.4.2. Secador

O sistema experimental consistiu em uma coluna cônico-cilíndrica interligada a um sistema gerador de ar quente (Figura 4). A base cônica da coluna possui dimensões de 85 mm de altura e orifício de entrada com 50 mm de diâmetro, com ângulo incluído de 60°. O seguimento cilíndrico possui 136 mm de diâmetro interno e 545 mm de altura. No interior da coluna foi inserido um cesto para comportar a amostra a ser desidratada, o mesmo possui dimensões 50 mm de altura e 110 mm de diâmetro. O sistema de geração de ar quente, por sua vez, é composto por um ventilador centrífugo e um aquecedor por resistência elétrica, que são operados por meio de um painel de controle de temperatura.

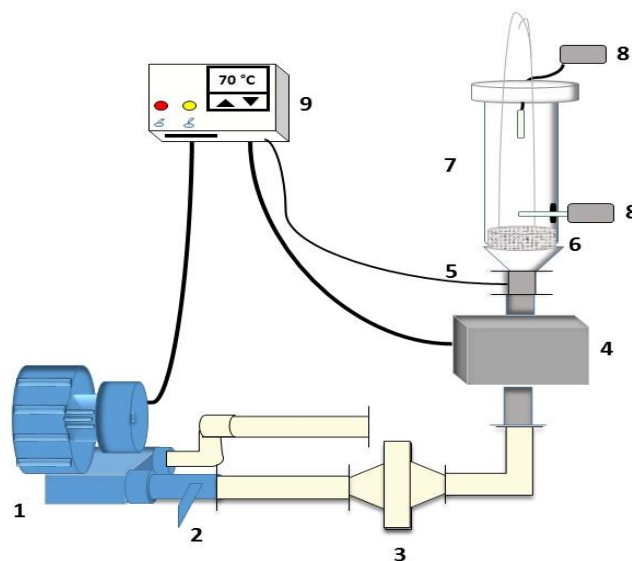


Figura 4. Esquema ilustrativo do equipamento de secagem convectivo de leito fixo, utilizado neste trabalho. Símbolos: (1) ventilador centrífugo, (2) válvula globo, (3) sistema de resfriamento, (4) aquecedor elétrico, (5) termopar, (6) cesto da amostra, (7) câmara de secagem com geometria cilíndrica, (8) termohigrômetro, (9) painel de controle de temperatura.

Basicamente, durante a operação deste equipamento, o fluxo de ar gerado por um ventilador centrífugo é controlado por uma válvula globo, sendo então direcionado a um difusor. No transcurso do equipamento, o ar é aquecido através de um sistema de resistência elétrica. O ar quente percorre um ducto, no qual está localizado um sensor de temperatura, que transmite a informação através de um painel de controle. A amostra é aquecida pelo fluxo de ar, que adentra a mesma por meio de uma tela de alumínio, localizada na base cônica da coluna. Após passar pela amostra, é medida a umidade de temperatura do ar, através de um termohigrômetro, localizado acima do leito (Figura 4). Na saída do leito também são

realizadas leituras das condições do ar. Além disto, a umidade e temperatura do ar ambiente são monitoradas durante a secagem.

4.4.3. Operação de secagem

A princípio, as amostras foram fatiadas manualmente, de maneira a se obter homogeneidade entre as mesmas (Figura 5). Foi estabelecida massa fixa para todos os ensaios de secagem, sendo 32 gramas para epicarpo e 40 gramas para mesocarpo.

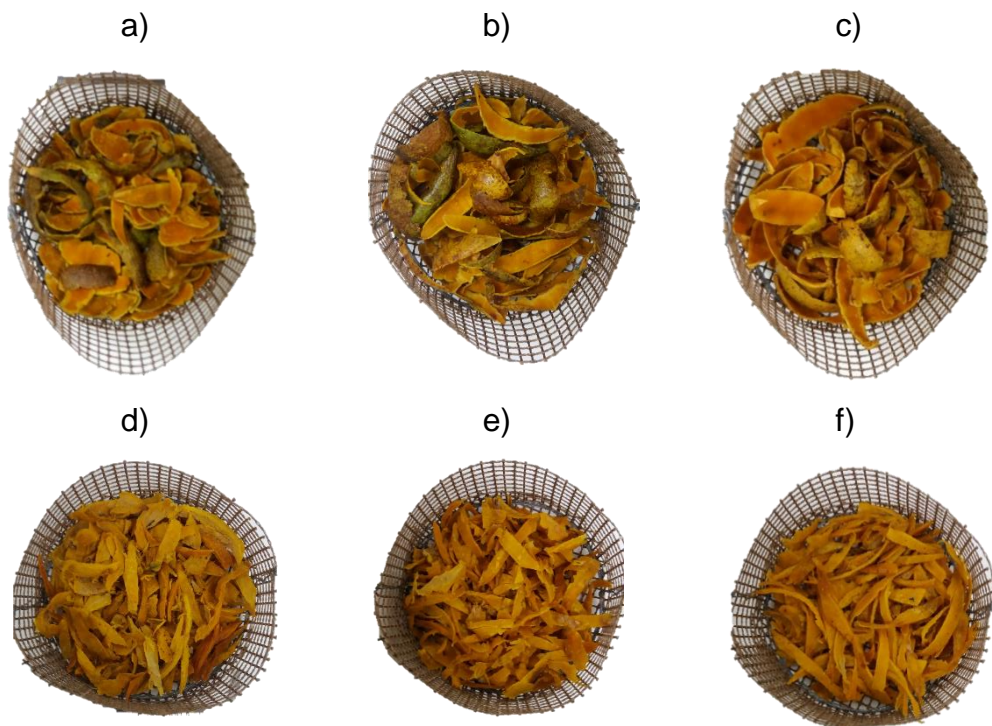


Figura 5. Amostras do mesocarpo e epicarpo de tucumã in natura submetidas à secagem: a) epicarpo grupo 1, b) epicarpo grupo 2, c) epicarpo grupo 3, d) mesocarpo grupo 1, e) mesocarpo grupo 2, f) mesocarpo grupo 3.

Após registro da massa, as amostras foram inseridas no secador. O controle da perda de umidade se deu por meio da aferição da massa das amostras em intervalos predefinidos de tempo. As amostras foram retiradas do secador e pesadas a cada 5 minutos na primeira hora, 10 minutos na segunda hora, 15 minutos na terceira hora, 20 minutos na quarta hora e 30 minutos a partir da quinta

hora em diante. A secagem foi considerada finalizada, quando a massa da amostra permaneceu constante.

Com os resultados foram construídas curvas de razão de umidade (RU) em função do tempo. A RU foi calculada conforme Equação 7:

$$RU = \frac{X_i - X_e}{X_0 - X_e} \quad (7)$$

Em que, X_i , X_e e X_0 representam a umidade no tempo t , umidade de equilíbrio e umidade inicial em base seca, respectivamente.

Para construção da curva de taxa de secagem, foi calculada taxa de secagem, por meio da derivada da umidade pelo tempo, conforme Equação 8. Para modelagem dos dados de secagem, empregaram-se Equações 9 a 11, dispostas na Tabela 4.

$$Taxa = \frac{\Delta X}{\Delta t} \therefore Taxa = \frac{X_{n+1} - X_n}{t_{n+1} - t_n} \quad (8)$$

Em que, o termo $X_{n+1} - X_n$ representa a diferença entre duas leituras de umidade subsequentes, dadas em gramas de água por gramas de massa seca (g H₂O/g massa seca) e $t_{n+1} - t_n$ corresponde à diferença entre duas leituras de tempo subsequentes.

Tabela 4. Modelos matemáticos utilizados para avaliar a adequação às curvas de secagem.

Nome do modelo matemático	Equação
Newton	$RU = e^{-kt}$ (9)
Page	$RU = e^{-kt^n}$ (10)
Henderson/Pabis	$RU = a \times e^{-kt}$ (11)

4.5. Análise estatística

Os resultados de cor e dados morfométricos foram submetidos à análise de variância (ANOVA), seguida de teste Tukey, em nível de 95 % de confiança (p

< 0,05). Os dados da composição centesimal, pH, acidez, SST e carotenoides foram expressos por meio de médias e desvio padrão.

Para avaliar os efeitos do agrupamento dos frutos por meio da cor e da temperatura de secagem sobre o teor de carotenoides, foi empregada metodologia de superfície de resposta. O teste F foi empregado como critério de validação da significância estatística dos modelos obtidos em nível de confiança de 90% ($p < 0,10$).

A qualidade do ajuste dos modelos matemáticos às curvas experimentais de secagem foi validada conforme análise de regressão não linear considerando maiores valores de coeficiente de determinação (R^2) e Qui quadrado (χ^2).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Resultados da análise de coloração dos frutos

Na Tabela 5 estão dispostos os resultados da análise de cor para o epicarpo dos frutos de tucumã, tomados por meio de medidas em superfícies expostas (ES) e não expostas ao sol (NES).

Para os frutos do grupo 1 foi observada melhor homogeneidade nas diferentes medidas, de exposição ou não ao sol, em todas as coordenadas cromáticas analisadas. De uma maneira geral, os frutos apresentaram parâmetros cromáticos com valores positivos para a^* e b^* , indicando presença das cores vermelhas e amarelas, respectivamente. Os valores de b^* foram mais expressivos que os valores de a^* , repercutindo sobre a tonalidade (Hue) amarelo-alaranjada encontrada.

A intensidade dos parâmetros cromáticos foi variável nos grupos, com diferenças mais evidentes entre frutos G1 e G3. Independente dos lados de exposição ou não ao sol, frutos G1 apresentaram maiores valores de Hue e menores valores de L^* , a^* e b^* , ou seja, apresentaram-se menos alaranjados e mais escuros, quando comparado ao G3. Os frutos do grupo 2, por sua vez, apresentaram valores intermediários para claridade (L^*) e cor amarela (b^*).

Tabela 5. Cor do epicarpo dos frutos de tucumã em diferentes grupos (G1, G2 e G3).

Parâmetro	Epicarpo grupo1 (n=23)		Epicarpo grupo 2 (n=58)		Epicarpo grupo 3 (n=28)	
	ES	NES	ES	NES	ES	NES
L*	36 ± 3 ^e	35 ± 4 ^e	42 ± 4 ^c	40 ± 4 ^d	47 ± 3 ^b	50 ± 3 ^a
a*	5 ± 2 ^c	6 ± 2 ^c	12 ± 4 ^b	7 ± 3 ^c	12 ± 3 ^b	17 ± 2 ^a
b*	15 ± 3 ^e	15 ± 3 ^e	20 ± 2 ^c	18 ± 3 ^d	23 ± 2 ^b	25 ± 2 ^a
Hue	70 ± 7 ^a	68 ± 9 ^a	58 ± 8 ^c	70 ± 8 ^a	62 ± 5 ^b	56 ± 4 ^c

ES= exposto ao sol. NES= não exposto ao sol. M= média. DP= desvio padrão. Médias seguidas pelas mesmas letras nas linhas não diferem entre si pelo Teste de Tukey (p<0,05).

Apesar da cor da casca dos frutos ser um critério bastante relativo, alguns autores têm correlacionado os aspectos evolutivos de cor com parâmetro de maturação dos frutos. Ferrer et al. (2005), ao analisarem a evolução da cor de pêssegos Calanda, encontraram aumento linear de a*, em função do estágio de maturação, fato explicado pela perda de clorofila. Para o parâmetro b* foi observado aumento durante o período de maturação e decréscimo no período de climatério, sendo considerado indicador do início dos fenômenos de senescência. Para os autores, embora o Hue não seja considerado um bom parâmetro de maturidade, os resultados mostraram que este parâmetro diminuiu linearmente com o tempo e foi correlacionado com todos os parâmetros relacionados com a maturidade.

Para Elias (2011), entretanto, a cor da casca não é um bom índice de maturidade fisiológica de tucumã. Ao avaliar a mudança de cor, em frutos colhidos em intervalos periódicos de tempo, observou que, aos 190 dias, período que caracterizou o final da dispersão dos frutos, o epicarpo apresentou padrões diferenciados de cor, destacando-se o verde claro e o amarelo. Entretanto, a determinação da cor dos frutos foi realizada com metodologia distinta ao deste estudo, sendo realizada por meio de código de cores da tabela de Kornerup e Wanscher (1961).

Quando avaliados os resultados de cor do mesocarpo do tucumã (Tabela 6), de uma maneira geral, foram observadas distribuições aproximadas das coordenadas cromáticas a^* e b^* , indicando proporções semelhantes da incidência das cores vermelhas e amarelas. Estes parâmetros repercutiram sobre a tonalidade alaranjada do mesocarpo dos frutos cujo Hue resultante foi entre 44–50.

Na comparação dos grupos, embora se tenham observado diferenças entre os grupos G1 e G3, tendência semelhante ao do epicarpo, estas foram mais sutis no mesocarpo. Os frutos do G1 apresentaram menores valores de a^* (23), b^* (23) e L^* (44), quando comparados ao G3 ($a^* = 27$, $b^* = 26$ e $L^* = 48$). No G2 foi obtido o maior valor médio de tonalidade, com Hue = 50.

Tabela 6. Cor do mesocarpo dos frutos de tucumã para os diferentes grupos considerados (G1, G 2 e G3).

Parâmetro	¹ Mesocarpo Grupo 1 (n=28)	² Mesocarpo Grupo 2 (n=58)	³ Mesocarpo Grupo 3 (n=23)
L^*	44 ± 2 ^b	48 ± 2 ^a	48 ± 3 ^a
a^*	23 ± 3 ^b	22 ± 2 ^b	27 ± 3 ^a
b^*	23 ± 1 ^b	26 ± 1 ^a	26 ± 2 ^a
°Hue	46 ± 3 ^b	50 ± 3 ^a	44 ± 3 ^b

Resultados para todas as variáveis correspondem a valores determinados com base na média e desvio padrão da média.

Médias seguidas pelas mesmas letras nas linhas não diferem entre si pelo Teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Segundo Elias (2011), um dos melhores indicadores morfológicos de maturação de frutos de tucumã é a cor do mesocarpo amarelo ou laranja-escuro. No estudo realizado pelo mesmo, as mudanças de cor apresentadas no epicarpo não foram tão evidentes, quanto às mudanças ocorridas na cor do mesocarpo e endocarpo dos frutos. Além disso, Flor (2013), ao avaliar os aspectos colorimétricos da polpa de tucumã (*Astrocaryum aculeatum* Meyer), encontrou valores de a^* semelhantes ao deste estudo, com valores de b^* muito superiores, que repercutiram nos valores também superiores de L^* .

Diferenças de colorações entre frutos da mesma espécie também foram encontradas por Sanjinez-Argandoña e Chuba (2011). Estes autores, ao

analisarem frutos de palmeira bocaiúva (*Acrocomia aculeata* (Jacq) Lodd), de duas procedências, encontraram em amostras de Presidente Epitácio - SP parâmetros inferiores para b^* (51,95) e L (70,66) e superior para a^* (35,39), quando comparados às amostras procedentes de Dourados - MS ($a^* = 30,74$, $b^* = 63,26$ e $L^* = 77,08$). Estes resultados revelam a complexidade desta questão, que se torna mais crítica quando associada ao grau de maturação dos frutos, pois esta condição pode influenciar as propriedades físico-químicas e composição de compostos funcionais dos mesmos.

5.2. Aspectos morfométricos dos frutos

Os resultados encontrados para as mensurações morfométricas estão dispostos na Tabela 7. Basicamente, os frutos apresentaram média geral de 54 mm para diâmetro longitudinal (DL), 46 mm de diâmetro transversal (DT) e 61 g de massa do fruto (MF). Estes parâmetros exibiram valores médios diferentes entre os três grupos analisados, com maiores valores de DL, DT e MF para frutos do G3, seguido dos frutos do G2 e do G1. De uma maneira geral, os valores médios encontrados para DL e DT estão dentro das margens de variações para *Astrocaryum aculeatum* Meyer descritas por Lorenzi et al. (2010). Moussa e Kahn (1997), ao estudarem 717 frutos da espécie supracitada, obtiveram resultados médios semelhantes ao limite inferior desta pesquisa.

Independente do grupo, os frutos apresentaram médias semelhantes de índice de formato, DL/DT entre 1,17 e 1,19, indicativos de formato levemente oblongado. Este resultado corrobora com o trabalho de Lorenzi et al (2010), o qual descrevem os frutos de *A. aculeatum* Meyer como portadores de formatos globosos a elipsoides.

A contribuição das frações dos frutos em relação à massa total do mesmo correspondeu à média geral de 18,61% para mesocarpo (%M), 11% para epicarpo (%E) e 70% para pirênio (%P). Ou seja, para se obter 1 kg de polpa (mesocarpo) seriam necessários cerca de 5,5 kg de fruto, ou aproximadamente 90 unidades. Moussa e Kahn (1997) também encontraram percentual de mesocarpo semelhante ao desta pesquisa ($21,9\% \pm 4,1$). O rendimento pode também ser comparado a outro fruto de interesse econômico, pertencente à mesma família, acaí (*Euterpe*

precatória Mart.), cujo epicarpo + mesocarpo perfaz 33% da massa do fruto (Yuyama et al., 2011).

Ao avaliar os rendimentos por grupos, frutos do G1, embora menores, apresentaram massa e espessura do mesocarpo semelhante aos frutos maiores, com menor % pirênio, que resultou em maior rendimento médio de mesocarpo (24%) seguido de frutos G3 (20%) e G2(15%). Para Schroth et al. (2004), devido à produção, quase exclusivamente extrativista, os frutos de tucumã seguem padrão diferenciado de tamanho, bem como de produtividade. Para o referido autor, a variabilidade nas populações espontâneas é grande para o rendimento e para características de qualidade. Além disto, diferenças nas condições edafoclimáticas, bem como época e condições de colheita são fatores preponderantes no rendimento dos frutos.

Tabela 7. Aspectos morfométricos dos frutos de tucumã nos grupos estudados.

Parâmetros	G1 (n=22)	G2 (n=46)	G3 (n=16)	Geral
Diâmetro Longitudinal (mm)	51 ± 2 ^c	54 ± 4 ^b	58 ± 5 ^a	54 ± 4
Diâmetro Transversal (mm)	43 ± 2 ^c	46 ± 3 ^b	49 ± 4 ^a	46 ± 4
DL/DT(mm)	1,18 ± 0,05 ^a	1,17 ± 0,05 ^a	1,19 ± 0,09 ^a	1,18 ± 0,06
Massa do Fruto (g)	51 ± 8 ^c	61 ± 12 ^b	75 ± 18 ^a	61 ± 15
Massa do Epicarpo (g)	7 ± 2 ^{ab}	6 ± 2 ^b	8 ± 2 ^a	7 ± 2
Massa do Mesocarpo (g)	12 ± 4 ^a	10 ± 3 ^b	15 ± 5 ^a	11 ± 4
Massa do Pirênio (g)	32 ± 7 ^c	45 ± 8 ^b	52 ± 12 ^a	43 ± 11
Espessura do Mesocarpo (mm)	2 ± 1 ^a	1,5 ± 0,4 ^b	2 ± 0,7 ^a	1,8 ± 0,8
Espessura do Epicarpo (mm)	1,44 ± 0,38 ^a	1,1 ± 0,26 ^b	1,2 ± 0,2 ^{ab}	1 ± 0,3
Mesocarpo (%)	24 ± 8 ^a	15 ± 2 ^c	20 ± 4 ^b	19 ± 6
Epicarpo (%)	13 ± 3 ^a	10 ± 2 ^b	10 ± 2 ^b	11 ± 2
Pirênio (%)	63 ± 9 ^c	74 ± 3 ^a	70 ± 5 ^b	70 ± 7

DL/DT= Diâmetro longitudinal/ Diâmetro Transversal.

Resultados para todas as variáveis correspondem a valores determinados com base na média e no desvio padrão da média.

Médias seguidas pelas mesmas letras nas linhas não diferem entre si pelo Teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

5.3. Caracterização físico-química das frações do mesocarpo e epicarpo de tucumã

As propriedades físico-químicas do mesocarpo e epicarpo de frutos de tucumã, em base úmida, encontram-se na Tabela 8. De acordo com os resultados, as frações analisadas apresentaram altos teores de proteína (9,2 e 7,5 g.100g⁻¹ mesocarpo e epicarpo, respectivamente), β-caroteno (60 e 69 μg. g⁻¹ mesocarpo e epicarpo, respectivamente) e, principalmente, lipídios (32 e 17 g.100g⁻¹ mesocarpo e epicarpo, respectivamente).

A caracterização físico-química do mesocarpo e epicarpo apresentou similaridades para a maioria dos parâmetros, com exceção do teor de lipídios e carboidratos, sendo o primeiro mais expressivo no mesocarpo e o segundo no epicarpo. Marques et al. (2010) ao explorarem a composição do mesocarpo e epicarpo de (*Mangifera indica* L.) CV. Tommy Atkins encontraram comportamento semelhante. Para os autores, teores mais elevados de carboidratos no epicarpo são explicados devido à composição do mesmo ser constituída predominantemente de fibras.

Ao avaliar as características de composição entre os grupos, valores notadamente diferentes, tanto no mesocarpo quanto no epicarpo, foram obtidos para os teores de lipídios e carboidratos. Estas diferenças podem ser explicadas devido ao caráter extrativista que geram frutos com diferentes padrões. Além disso, a diversidade de locais de cultivo, bem como características inerentes da progênie podem responder pelas diferenças encontradas.

Os teores de umidades das frações do fruto (em torno de 37 g.100g⁻¹ para mesocarpo e epicarpo) apresentaram-se inferiores ao reportado por Yuyama et al. (2008) e Hall (1980), quando avaliaram o mesocarpo de tucumã e Vasconcelos (2010), quando trabalhou com o epicarpo do fruto. Leitão (2008), porém, obteve valores mínimos de umidade para mesocarpo semelhante ao encontrado neste estudo. Fatores como o tempo de exposição à venda e período de transporte podem ter influenciado na perda de massa úmida.

As médias obtidas para o teor de cinza (1,7 e 1,8 g 100g⁻¹ mesocarpo e epicarpo, respectivamente), que representam as substâncias inorgânicas na matriz alimentar, foram semelhantes às obtidas por Yuyama et al. (2008), Leitão (2008) e Vasconcelos (2010).

Os teores de proteínas (9,2 e 7,5 g.100g⁻¹ mesocarpo e epicarpo, respectivamente) foram maiores que os estudos realizados por Yuyama et al. (2008), Leitão (2008) e Hall (1980), mas semelhante à faixa descrita pela FAO (1987) para *Astrocaryum aculeatum* Meyer. Vasconcelos (2010) encontrou valores superiores em ambas as frações (mesocarpo e epicarpo). O teor proteico encontrado neste estudo é comparável ao teor da quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), embora esta possua todos os aminoácidos essenciais nas quantidades requeridas (Nowak et al., 2016), enquanto o tucumã (*Astrocaryum aculeatum* Meyer) apresenta cisteína, tirosina e histidina como aminoácidos limitantes (Hall et al., 1980).

Os altos teores de lipídios encontrados neste trabalho (33 e 17 g.100g⁻¹ mesocarpo e epicarpo, respectivamente) também corroboraram com os relatos de outros estudos (FAO, 1987; Yuyama et al., 2008; Leitão, 2008; Vasconcelos, 2010). O teor de lipídios encontrados neste estudo foi cerca de quatro vezes superior ao descrito para abacate (*Persea americana* Mill) in natura (TACO, 2011).

Ao avaliar a composição lipídica (Figura 6) foram identificados 6 ácidos graxos no mesocarpo e 5 no epicarpo. Os ácidos graxos majoritários no mesocarpo foram ácido oleico (61,98%), ácido linoleico (13,77%) e ácido palmítico (13,77%), enquanto no epicarpo foram: ácido oleico (76,04%) e ácido esteárico (13,83%). A distribuição de ácidos graxos insaturados foi de 75,75 e 80,65% mesocarpo e epicarpo, respectivamente. Mambrim e Arelano (1997) identificaram maior quantidade de ácidos graxos em *Astrocaryum vulgare*, com cerca de 29,4% de saturados, cujo majoritário foi o ácido palmítico (22,6%) e 73,4 % de insaturados, com ácido oleico perfazendo 64,7%. Firestone (2006), por sua vez, ao avaliar o perfil de ácidos graxos de óleo do mesocarpo de tucumã (*Astrocaryum vulgare*), encontrou sete ácidos graxos, valor aproximado ao encontrado neste estudo, com menor percentual de insaturados (63%).

De acordo com a “I Diretriz sobre o Consumo de Gorduras e Saúde Cardiovascular” (2013), dentre os ácidos graxos saturados (SFA) associados a fatores de risco cardiovascular, pode-se elencar: o ácido graxo láurico (C12:0), que contribui mais expressivamente para o aumento do LDL-c e diminuição HDL-c, seguido do mirístico (C14:0) e do palmítico (C16:0). Para o ácido graxo esteárico, (C18:0) há relato de pequena redução no LDL-c e pequeno aumento no HDL-c. Com relação aos ácidos graxos monoinsaturados (MUFA), uma dieta rica nestes

promove incremento de HDL-c e diminuição de triglicérides, embora discretos. Além disto, há evidências de que o consumo de MUFA promove diminuição da suscetibilidade do LDL-c à oxidação, inibindo o processo aterogênico. Outras evidências associadas ao MUFA incluem melhorias na resistência à insulina e função endotelial, com redução do risco cardiovascular. Já para o ácido linoleico (C18:2) são atribuídas funções na redução da incidência de doenças cardiovasculares, com alguns estudos sugerindo ação na diminuição ao risco de Diabetes Mellitus tipo 2.

Os resultados para a composição de ácidos graxos podem ser um aspecto positivo, visando à formulação de um produto a base de farelo de casca de tucumã de maior valor agregado.

Carboidratos representaram 21 e 37 g.100g⁻¹ no mesocarpo e epicarpo, respectivamente. Valores inferiores ao deste estudo foram reportados por Yuyama et al. (2008), porém os mesmos obtiveram maior teor de umidade por meio da amostra analisada. Leitão (2008) obteve faixa de valores semelhante à deste estudo.

Teores de sólidos solúveis (°Brix), comumente associados ao conteúdo de açúcar, representaram metade do valor encontrado por Leitão (2008). Segundo Chitarra e Chitarra (2005), estas divergências dentro de uma mesma espécie podem ser explicadas devido às variações nas formas de cultivo, clima e tipo de solo.

A acidez está relacionada ao estado de conservação de alimentos, podendo ser fornecida por meio de determinação da acidez titulométrica ou por meio da concentração hidrogeniônica no meio, por meio do pH. (IAL, 2008). Nesta pesquisa, os valores encontrados para acidez total titulável (0,47 e 0,50 g.100g⁻¹ mesocarpo e epicarpo, respectivamente) foram muito inferiores aos reportados por Leitão (2008), apresentando valores semelhantes aos obtidos por Flor (2013) e Yuyama (2008). O pH encontrado, em torno de 5, também foi semelhante aos valores encontrados pelos autores citados acima. De acordo com Gomes e Silva (2003), pH entre 4 a 11 permite a multiplicação da maioria das bactérias em alimentos, o que sugere cuidados adicionais no acondicionamento e armazenamento destes frutos.

Os teores de carotenoides (expressos como β -caroteno) obtidos neste estudo (60 e 69 $\mu\text{g.g}^{-1}$ mesocarpo e epicarpo, respectivamente) foram inferiores ao

teor de β -caroteno reportado por Yuyama et al (2008) e superiores ao obtido por De Rosso e Mercadente (2007) para all-trans- β -caroteno em polpa de tucumã (*A. aucleatum* Meyer). Ao avaliar o teor deste composto nas frações do fruto, pôde-se observar tendência mais expressiva de β -caroteno no epicarpo do fruto. Outros estudos, citados por Rodriguez-Amaya (2001), encontraram teores de carotenoides mais elevados no epicarpo em comparação com mesocarpo em frutas e legumes (Rodriguez-Amaya e Kimura,1989; Arima e Rodriguez-Amaya 1988; Huysken et al., 1985).

De fato, os teores encontrados neste estudo são 11 vezes superiores ao teor de β -caroteno na abóbora Moranga (*Cucurbita pepo*) e cerca de 2 vezes superiores à cenoura crua (*Daucus carota*) (Rodriguez-Amaya et al., 2008).

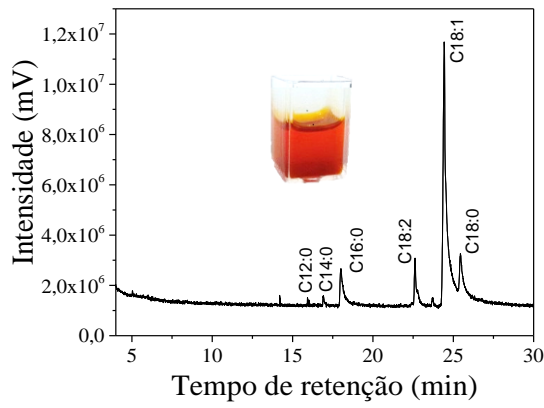
De acordo com Rodriguez-Amaya (2001), carotenoides são definidos como pigmentos naturais responsáveis pelas cores amarelo, laranja ou vermelho de muitas frutas. São consideradas substâncias bioativas, com efeitos benéficos à saúde. Dentre os carotenoides, a molécula de beta caroteno é uma potente provitamina A. Além desta função, suas funções biológicas incluem prevenção contra certos tipos de câncer e doenças cardiovasculares.

Tabela 8. Caracterização físico-química dos frutos de tucumã em diferentes grupos analisados.

Parâmetros	Fruto G1		Fruto G2		Fruto G3		Média Geral	
	Mesocarpo	Epicarpo	Mesocarpo	Epicarpo	Mesocarpo	Epicarpo	Mesocarpo	Epicarpo
Umidade (g.100g ⁻¹)	37,7 ± 0,2	37 ± 5	36,6 ± 0,6	40,3 ± 0,6	34,5 ± 0,6	31,2 ± 0,9	37 ± 1	37 ± 5
Cinzas (g.100g ⁻¹)	2,07 ± 0,03	1,49 ± 0,05	1,99 ± 0,06	1,92 ± 0,04	1 ± 0,6	1,9 ± 0,1	1,7 ± 0,6	1,8 ± 0,2
Proteína (g.100g ⁻¹)	9,4 ± 0,2	7,25 ± 0,06	9,84 ± 0,02	7,6 ± 0,3	8,0 ± 0,1	7,6 ± 0,2	9,2 ± 0,8	7,5 ± 0,5
Lipídio (g.100g ⁻¹)	24,2 ± 0,6	12,12 ± 0,02	40,0 ± 0,3	16 ± 0,6	33 ± 1	25,8 ± 0,9	32 ± 7	17 ± 6
Carboidrato (g.100g ⁻¹)	27 ± 1	42 ± 5	11,6 ± 0,8	34,2 ± 0,3	24 ± 2	33,7 ± 0,1	21 ± 7	37 ± 5
Brix (g)	6,9 ± 0,2	—	6,2 ± 0,3	—	6,9 ± 0,2	—	6,7 ± 0,4	—
Acidez (g.100g ⁻¹)	0,50 ± 0,07	0,43 ± 0,06	0,42 ± 0,03	0,56 ± 0,02	0,52 ± 0,03	0,46 ± 0,01	0,47 ± 0,08	0,50 ± 0,07
pH	5,54 ± 0,03	5,23 ± 0,04	5,49 ± 0,01	5,28 ± 0,01	5,70 ± 0,04	5,32 ± 0,04	5,6 ± 0,1	5,28 ± 0,05
β-Caroteno (μ.g ⁻¹)	61,2 ± 0,8	77 ± 8	63,4 ± 0,4	58 ± 11	57 ± 2	79 ± 10	60 ± 4	69 ± 11

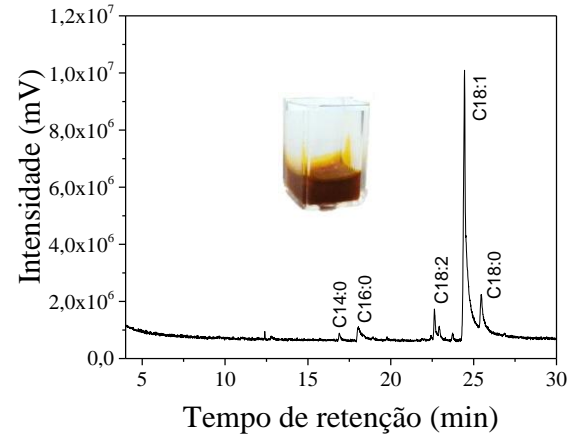
Resultados para todas as variáveis correspondem a valores determinados com base na média e no desvio padrão da média para medições feitas em triplicata.

a)



Composição		
Ácido graxo	g.100g ⁻¹	(%)
C12:0	0,2	0,8
C14:0	0,2	1,0
C16:0	3,3	13,8
C18:0	2,1	8,6
C18:1	15,0	62,0
C18:2	3,3	13,8
Saturados	5,9	24,2
Insaturados	18,3	75,8
Total	24,2	100,0

b)



Composição		
Ácido graxo	g.100g ⁻¹	(%)
C12:0	0,0	0
C14:0	0,1	0,9
C16:0	0,6	4,6
C18:0	1,7	13,8
C18:1	9,2	76,0
C18:2	0,6	4,6
Saturados	2,3	19,4
Insaturados	9,8	80,7
Total	12,1	100,0

Figura 6. Composição de ácidos graxos das frações do fruto de tucumã *Astrocaryum aculeatum* Meyer a) referente ao óleo extraído do mesocarpo; b) referente ao óleo extraído do epicarpo.

5.4. Secagem do mesocarpo de tucumã

As secagens do mesocarpo e do epicarpo de tucumã foram realizadas conforme o delineamento com composto central 2². As temperaturas adotadas para a secagem do mesocarpo foram de 50, 55 e 60 °C.

Para controlar os resultados obtidos na secagem, foi realizado monitoramento das condições do ar no secador e do ar ambiente no curso da desidratação das amostras, sendo para isso realizados registros de leituras da temperatura do ar de entrada no secador (°C), temperatura do ar no leito (°C), umidade relativa do ar de saída do secador (%), temperatura do ar ambiente (°C) e umidade relativa do ar ambiente de secagem.

As condições relacionadas ao secador estão dispostas na Figura 7. Com relação ao controle das condições do secador, foi possível observar que a temperatura de entrada no equipamento permaneceu estável, com oscilações mínimas de $\pm 1^\circ\text{C}$, em todos os ensaios realizados. A temperatura do leito, por sua vez, foi estabilizada em até 30 minutos após início das secagens, permanecendo em torno de $50 \pm 1^\circ\text{C}$ nos testes de menor temperatura do G1 e G3, $55 \pm 1^\circ\text{C}$ para o ponto central do G2 e $60 \pm 1^\circ\text{C}$ para o limite superior do G1 e G3. A umidade relativa de saída, com exceção do ensaio com mesocarpo do G1 a 50°C, apresentou oscilações de 9 a 25% nos primeiros 25 minutos de secagem, permanecendo com intervalo de variação de 10 a 17% até o final da secagem.

As variáveis relacionadas ao ar ambiente estão inseridas na Figura 8. Em relação ao controle do ar ambiente, quando avaliados todos os ensaios, as temperaturas mantiveram oscilações entre 21 e 31°C. Ao avaliar cada experimento de secagem, as temperaturas do ar ambiente apresentaram-se relativamente constantes, com maior oscilação, 27 a 30°C, na secagem do mesocarpo do G1 a 50 °C. A menor temperatura ambiente foi registrada no ensaio G3 a 50°C, com faixa de temperatura de 24 a 26°C. Em relação à umidade relativa do ambiente, foi possível observar variação de 19 a 37% dentre todos os experimentos.

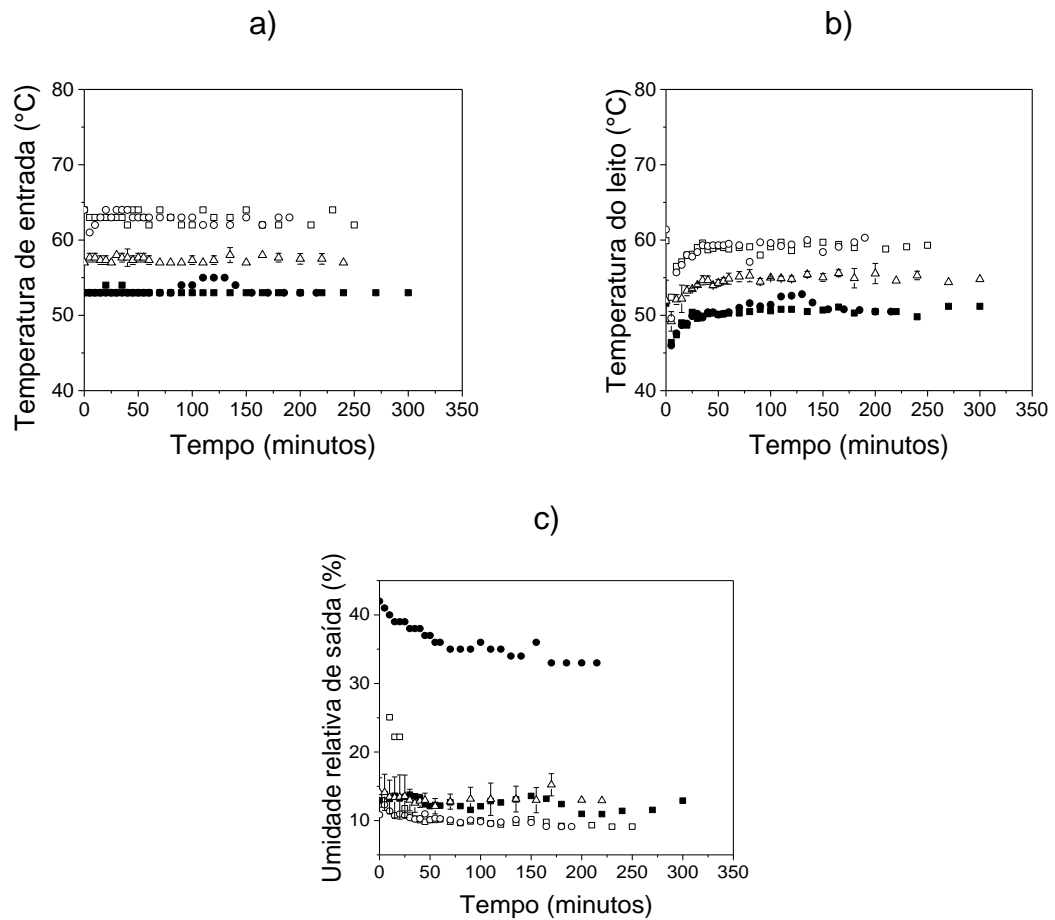


Figura 7. Monitoramento da performance do sistema de secagem durante a desidratação do mesocarpo de tucumã: a) temperatura do ar de entrada (°C), b) temperatura do ar no leito (°C) e c) umidade relativa do ar na saída (%) da câmara de secagem. Símbolos: ■ mesocarpo G3 a 50°C, □ mesocarpo G3 a 60°C, ● mesocarpo G1 a 50°C, ○ mesocarpo G1 a 60°C, Δ mesocarpo G2 a 55°C.

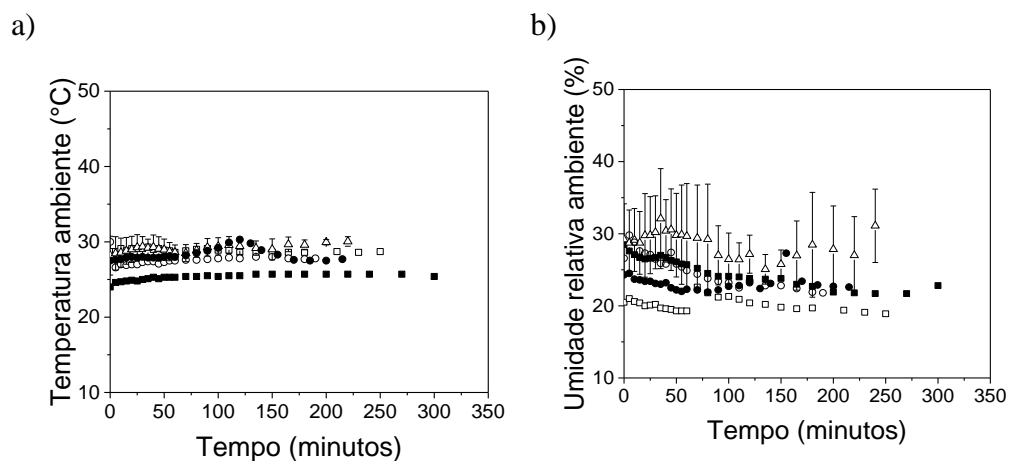


Figura 8. Monitoramento do ar ambiente durante a desidratação do mesocarpo de tucumã: a) temperatura do ar ambiente (°C) e b) umidade relativa do ar ambiente (%). Símbolos: ■ mesocarpo G3 a 50°C, □ mesocarpo G3 a 60°C, ● mesocarpo G1 a 50°C, ○ mesocarpo G1 a 60°C e Δ mesocarpo G2 a 55°C.

5.4.1. Cinética de secagem do mesocarpo

Na Figura 9 é apresentada a evolução da razão de umidade (RU), em base seca, em função do tempo de secagem para cada experimento realizado até a umidade de equilíbrio. O tempo de secagem em todos os experimentos variou de 180 a 300 minutos. Os tempos de secagens encontrados neste estudo foram inferiores aos reportados por Siqueira (2014), ao desidratar amostras de *Astrocaryum vulgare* Mart nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C. Entretanto, este autor trabalhou com maior massa de amostra, utilizando simultaneamente mesocarpo e epicarpo, sob menor fluxo de ar.

As curvas de secagem obtidas para as condições relativas ao ponto central do planejamento experimental, mesocarpo G2 a 55 °C (Figura 9a), apresentaram pequenos desvios, demonstrando reprodutibilidade e confiabilidade dos ensaios, tanto em relação às condições de operação do secador como da umidade das amostras secas. O tempo de secagem para o ponto central foi de 240 minutos nas repetições 1 e 3 e 300 minutos para a repetição 2.

Ao analisar os extremos do planejamento (Figura 9b), observou-se que houve pouca diferença na perda de umidade. Entretanto, foi possível identificar uma tendência de perda de umidade mais rápida com incremento da temperatura. Resultados mais expressivos não foram visualizados, possivelmente, por se tratar de uma faixa de temperatura não tão ampla. O tempo de secagem requerido para a temperatura de 50 °C foi de 215 e 300 min para G1 e G3, respectivamente. A 63 °C o tempo de secagem foi reduzido para 190 no G1 e 180 minutos no G3.

Na figura 9c estão ilustradas as curvas de secagem de todos os ensaios. Pôde-se perceber que, embora discretamente, houve uma tendência para a evolução da perda de umidade mais rápida conforme aumento da temperatura.

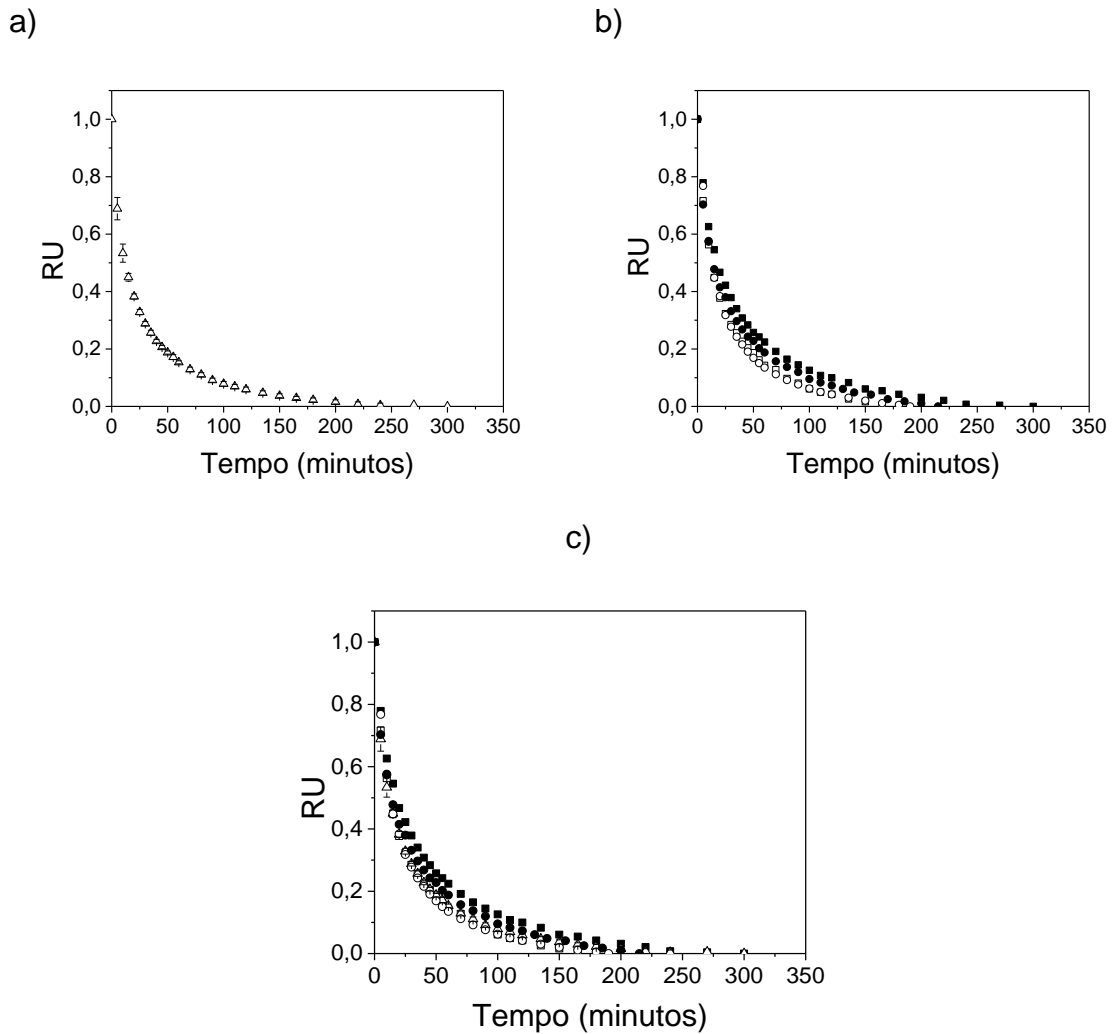


Figura 9. Curvas de secagem do mesocarpo de tucumã para os diferentes grupos: a) G2 a 55 °C em triplicata, b) G1 e G3 a 50 e 60 °C e c) todos os ensaios. Símbolos: ■ mesocarpo G3 a 50 °C, □ mesocarpo G3 a 60 °C, ● mesocarpo G1 a 50 °C, ○ mesocarpo G1 a 60°C, Δ mesocarpo G2 a 55 °C.

A figura 10 apresenta a taxa de secagem em função da razão de umidade. Observou-se apenas um período decrescente de secagem. Este fato tem sido observado durante a secagem de alimentos de diversas fontes. Por exemplo, Aral e Beşe (2016), ao trabalharem com secagem convectiva de frutos pilteira (*Crataegus* spp) e Vásquez-Parra et al. (2013), ao estudarem a secagem de tomate-de-capucho, também observaram a presença de um único período de taxa decrescente. Estes resultados também estão de acordo com Siqueira (2014), ao realizar secagem conjunta de epicarpo e mesocarpo de tucumã (*Astrocaryum vulgare* Mart).

Ao observar todos os ensaios (Figura 10c), foi possível perceber que, as taxas mais altas de secagem ocorreram nas temperaturas mais elevadas e no ponto central, onde se observou a mais alta taxa. Outros fatores, independentes da temperatura, como: a composição físico-química (Tabela 8) ou espessura do mesocarpo (Tabela 7), que foi a menor dentre os grupos, podem ter sido mais importantes que a temperatura nestes ensaios.

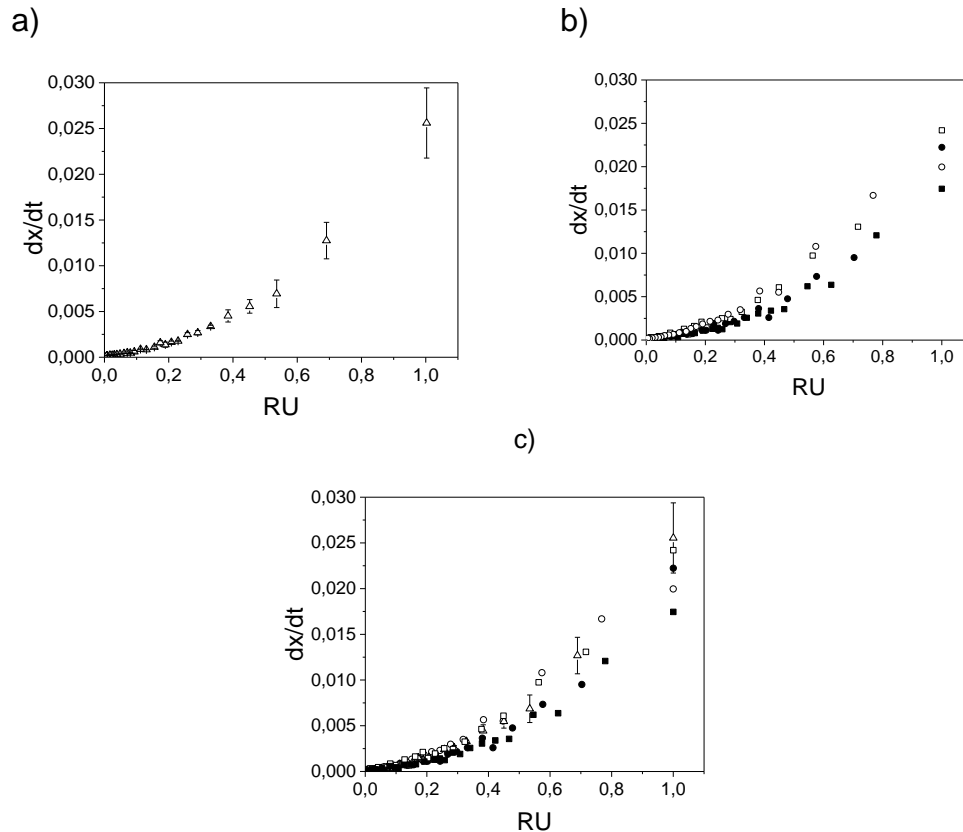


Figura 10. Curvas de taxa de secagem do mesocarpo de tucumã em função da temperatura de secagem e dos grupos: a) média e desvio padrão do G2 a 55 °C, b) G1 e G3 a 50 e 60 °C e c) todos os ensaios. Símbolos: ■ mesocarpo G3 a 50 °C; □ mesocarpo G3 a 60 °C; ● mesocarpo G1 a 50 °C; ○ mesocarpo G1 a 60 °C; Δ mesocarpo G2 a 55 °C.

5.4.2. Ajuste de modelos matemáticos para descrever a secagem do mesocarpo de tucumã

Na Tabela 9 estão dispostos os coeficientes e parâmetros estatísticos para os modelos de Page, Henderson e Pabis e Newton ajustados às curvas de secagem do mesocarpo de tucumã às temperaturas de 50, 55 e 60 °C.

Ao avaliar a qualidade do ajuste dos modelos aos dados experimentais, foi possível concluir que este apresentou resultados satisfatórios para os três modelos considerados, com altos valores de coeficiente de determinação ($R^2 > 0,92$) e baixos valores de chi quadrado ($X^2 < 0,003$) em todos os ensaios. Os melhores resultados foram obtidos por meio da equação de Page, com $R^2 > 0,99$ e $X^2 < 2,37 \cdot 10^{-4}$ (Tabela 9 e Figura 11).

Sampaio et al. (2015), ao estudarem a secagem do mesocarpo do caqui (*Diospyros kaki* cv. Fuyu) em leito fixo, também obtiveram bons ajustes aos dados de secagem por meio do modelo de Page. Siqueira (2014), ao avaliar a secagem de outra espécie de tucumã (*Astrocaryum vulgare* Mart), utilizando epicarpo e mesocarpo, obteve melhores ajustes por meio dos modelos de Page, Page modificado, Handerson e Pabis e Newton.

Ao avaliar os coeficientes de secagem, foi observado que a constante k , relacionada com fatores externos à secagem e comumente associada à temperatura, não apresentou influência neste trabalho, possivelmente pela utilização de faixas estreitas de temperatura neste estudo. Os valores de k , foram especialmente diferentes no ponto de temperatura intermediária, que pode ter sofrido influência da alta oscilação de umidade relativa do ambiente (Figura 8b).

Tabela 9. Valores dos parâmetros de modelos ajustados para as curvas de secagem do mesocarpo de tucumã.

Modelo	Ensaio	Parâmetros dos modelos			Parâmetros Estatísticos	
		K	n	a	R ²	X ²
Newton $RU = e^{-kt}$	G1/ 50°C	0,035 ± 0,002			0,9288	0,0041
	G3/ 50°C	0,030 ± 0,001			0,9468	0,0033
	G2/ 55°C*	0,041 ± 0,002			0,9390	0,0034
	G1/ 60°C	0,042 ± 0,002			0,9694	0,0020
	G3/ 60°C	0,042 ± 0,002			0,9534	0,0029
Page $RU = e^{-kt^n}$	G1/ 50°C	0,129 ± 0,004	0,631 ± 0,008		0,9987	7,29.10 ⁻⁵
	G3/ 50°C	0,099 ± 0,003	0,666 ± 0,009		0,9986	8,84.10 ⁻⁵
	G2/ 55°C*	0,146 ± 0,003	0,624 ± 0,006		0,9994	3,11.10 ⁻⁵
	G1/ 60°C	0,104 ± 0,006	0,73 ± 0,02		0,9963	2,37.10 ⁻⁴
	G3/ 60°C	0,122 ± 0,005	0,68 ± 0,01		0,9982	1,13.10 ⁻⁴
Henderson e Pabis $RU = a \times e^{-kt}$	G1/ 50°C	0,028 ± 0,002		0,85 ± 0,03	0,9566	0,0025
	G3/ 50°C	0,024 ± 0,001		0,87 ± 0,03	0,9666	0,0021
	G2/ 55°C*	0,034 ± 0,002		0,86 ± 0,03	0,9585	0,0023
	G1/ 60°C	0,038 ± 0,002		0,92 ± 0,03	0,9753	0,0016
	G3/ 60°C	0,036 ± 0,002		0,89 ± 0,03	0,9671	0,0020

*valor obtido por meio da média das triplicatas referentes aos pontos centrais.

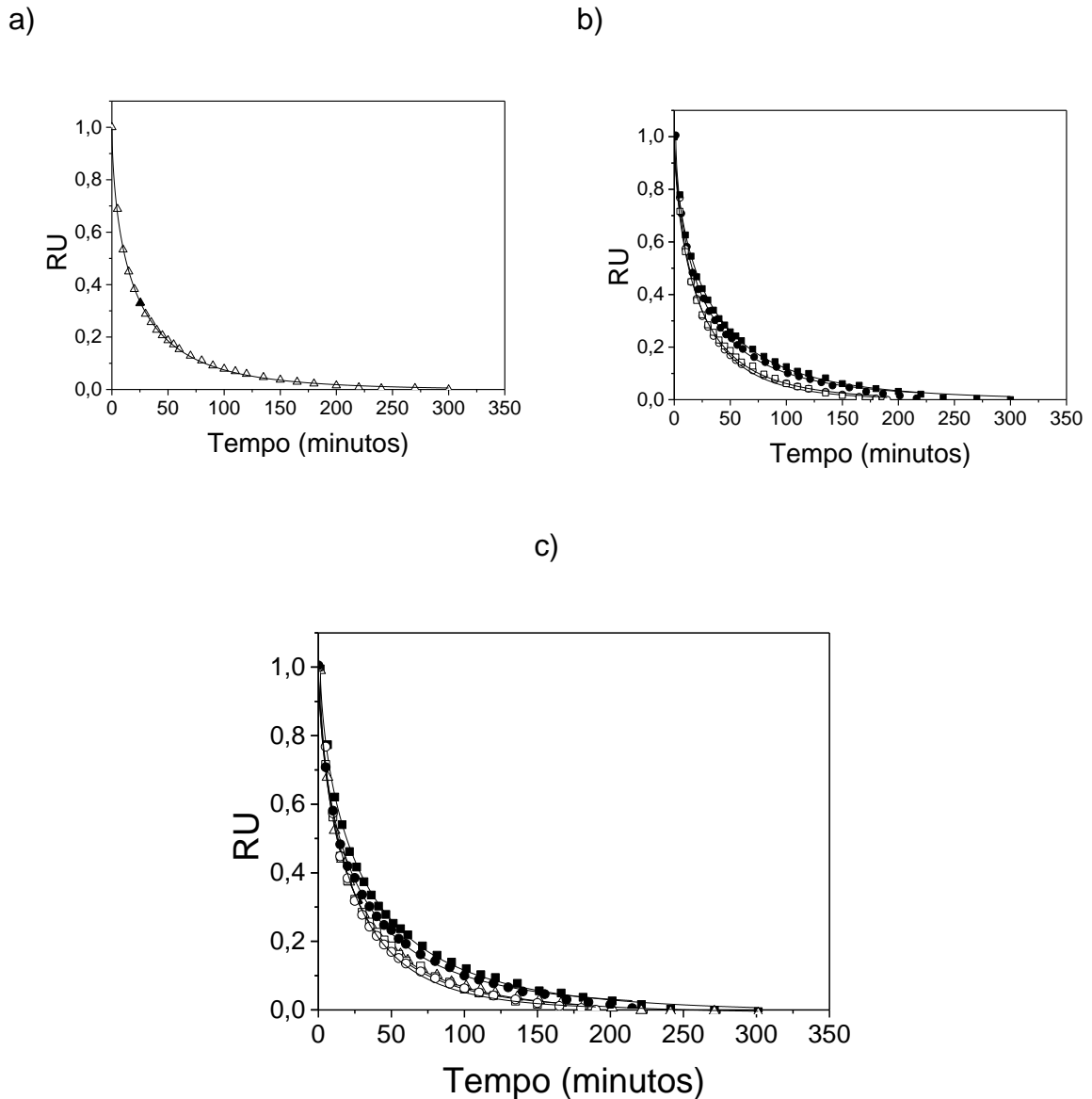


Figura 11. Ajuste das curvas de secagem do mesocarpo de tucumã ao modelo de Page: a) dados referentes a 60°C para mesocarpo G2, b) resultados para 50 e 60°C do mesocarpo G3 e G1 e c) todas as condições experimentais. Símbolos: ■ mesocarpo G3 a 50°C; □ mesocarpo G3 a 60°C; ● mesocarpo G1 a 50°C; ○ mesocarpo G1 a 60°C; Δ mesocarpo G2 a 55 °C.

5.4.3. Caracterização físico-química das amostras de mesocarpo após a secagem

5.4.3.1. Atividade de água e umidade do mesocarpo de tucumã pós-secagem

Após secagem, foi determinada a atividade de água (a_w). Este parâmetro é definido como a razão entre a pressão parcial da água em um produto e a pressão

de vapor da água pura à mesma temperatura. Desta forma, está relacionado com a água livre dos alimentos, ou seja, a água disponível para reações químicas, crescimento microbiano e meio de transporte para os compostos (BARBOSA et al.,2003).

Neste estudo foram obtidos valores de atividade de água que variaram de 0,938 a 0,9712 no mesocarpo in natura e 0,39 a 0,634 no mesocarpo desidratado, o que correspondeu a uma redução de 34 a 59 % deste parâmetro ao longo dos ensaios de secagens realizados. Os valores de atividade de água foram maiores no mesocarpo G1, independente da temperatura (Tabela 10). Segundo Barbosa et al. (2003), micro-organismos patogênicos ou deteriorantes se desenvolvem até um nível de atividade de água crítico, abaixo do qual o crescimento não pode ocorrer.

Conforme os referidos autores, microrganismos patogênicos não podem crescer em condições de $a_w < 0,86$; enquanto levedura e bolores apresentam a_w crítico $< 0,62$.

Siqueira (2014), ao desidratar mesocarpo e epicarpo e *A. vulgare* Mart, obteve atividade de água semelhante aos ensaios com G2 e G3 deste estudo. Contudo, o autor trabalhou com maior tempo de secagem, com temperatura de 50, 60 e 70°C, utilizando estufa com circulação de ar como meio de secagem.

Com relação ao parâmetro umidade, os valores médios obtidos nos produtos desidratados variaram de 2,09 a 4,7 g.100g⁻¹, o que representou uma redução de 83 a 92% do teor de umidade antes da secagem. Estes valores não sofreram influência dos grupos ou da faixa de temperatura trabalhada.

Tabela 10. Atividade de água e teor de umidade nos diferentes ensaios com mesocarpo.

Ensaio	Atividade de água (A_w)			Teor de Umidade (g. 100g ⁻¹)		
	Antes da secagem	Após secagem	P(%)	Antes da secagem	Após secagem	P (%)
G1/50°C	0,96 ± 0,01	0,634 ± 0,002	34	28,9 ± 0,6	4,7 ± 0,5	83
G3/50°C	0,9712 ± 0,003	0,431 ± 0,007	55,6	27,6 ± 0,2	2,9 ± 0,1	89
G1/60°C	0,941 ± 0,003	0,619 ± 0,002	34,19	32,99 ± 0,05	3,8 ± 0,4	89
G3/60°C	0,938 ± 0,003	0,39 ± 0,03	59	26 ± 1	2,09 ± 0,06	92
G2/55°C1	0,96 ± 0,01	0,441 ± 0,008	54	30,0 ± 0,2	3,9 ± 0,5	87
G2/55°C2	0,971 ± 0,001	0,40 ± 0,02	59	29,1 ± 0,4	4,4 ± 0,5	85
G2/55°C 3	0,963 ± 0,001	0,41 ± 0,02	57	31,5 ± 0,2	3,5 ± 0,2	89

P%= Percentual de perda.

5.4.3.2. Retenção de β -caroteno no mesocarpo de tucumã desidratado

Na Tabela 11 estão dispostos os resultados dos teores de β -caroteno dos ensaios com mesocarpo de tucumã. Pôde-se observar que os teores médios de β -caroteno no produto seco variaram de 80,55 a 99,92 μg^{-1} , em base seca. Estes valores representaram uma retenção de 80,66 a 101,80% de β -caroteno com relação ao produto in natura. O maior percentual de preservação foi obtido por meio dos ensaios que apresentaram maior atividade de água após a secagem (G1 a 50 e 60 °C).

Segundo Rodriguez-Amaya (2001), os carotenoides são degradados, principalmente, devido à oxidação que ocorre tanto no pré-processamento, quanto processamento e armazenamento. A oxidação é estimulada, dentre outros fatores, pela presença de luz, calor e enzimas. Segundo a autora, retenções de carotenoides acima de 100% ocorrem devido à maior facilidade com que os carotenoides são extraídos após processamento térmico, em virtude da diminuição da proteção física e enfraquecimento das ligações aos componentes da matriz alimentar.

Yuyama et al. (2008), ao trabalharem com mesocarpo de tucumã (*Astrocaryum aculeatum* Meyer) in natura e em forma de farinha, obtida por meio de secagem a 60°C por 72h em estufa com circulação de ar, seguida de pulverização e tamisação em peneira de 1,5mm, auferiram teores de β -caroteno de 10286 (in natura) e 12063 $\mu\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}$ (farinha). Fazendo uma comparação em base seca, os autores obtiveram teor de β -caroteno de 200 e 123 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ in natura e polpa desidratada, respectivamente, o que representou menor retenção (61%) em relação a este estudo, possivelmente devido ao maior tempo de exposição ao ar quente.

Tabela 11. Teores de β -caroteno do mesocarpo de tucumã in natura e desidratado, em base seca e percentual de preservação no produto pós-secagem.

Ensaio	β -caroteno		
	In natura* ($\mu\text{g.g}^{-1}$)	Desidratado* ($\mu\text{g.g}^{-1}$)	Retenção (%)
G1/50°C	98,2 \pm 0,8	98 \pm 5	100 \pm 5
G3/50°C	92 \pm 2	86 \pm 8	94 \pm 9
G1/60°C	98,2 \pm 0,8	100 \pm 2	102 \pm 2
G3/60°C	92 \pm 2	88 \pm 4	96 \pm 5
G2/55°C	99,9 \pm 0,4	88 \pm 11	88 \pm 11
G2/55°C	99,9 \pm 0,4	81 \pm 3	81 \pm 3
G2/55°C	99,9 \pm 0,4	91 \pm 3	92 \pm 3

*Teor de β -caroteno em base seca.

5.4.4. Planejamento de experimentos para avaliar os efeitos das variáveis temperatura de secagem e grupos nos ensaios de desidratação do mesocarpo de tucumã

A Tabela 12 apresenta a matriz experimental a fim de verificar a influência das variáveis independentes, “temperatura” e “grupo”, sobre o teor de β -caroteno, expresso em base úmida.

Tabela 12. Matriz experimental com os resultados do planejamento 2², com três pontos centrais, durante a secagem convectiva do mesocarpo de tucumã sob velocidade do ar constante de 10,5 m/s.

Ensaio	Variáveis independentes		Variáveis dependentes
	Grupos	Temperatura	β -caroteno* ($\mu\text{g.g}^{-1}$)
G1/50°C	-1	-1	69,98
G3/50°C	1	-1	62,61
G1/60°C	-1	1	66,92
G3/60°C	1	1	64,96
G2/55°C 1	0	0	61,43
G2/55°C 2	0	0	57,13
G2/55°C 3	0	0	62,27

*resultados expressos em base úmida.

Neste contexto, o gráfico de pareto (Figura 12) mostra os efeitos das variáveis ‘grupos de frutos com coloração diferente’ e ‘temperatura’, bem como da interação entre ambas, na resposta avaliada – teor de β -caroteno. Os resultados mostram efeitos negativos dos grupos e temperatura no teor de β -caroteno e efeito positivo da interação dos mesmos. Destas variáveis, os grupos e interação tiveram influência significativa na resposta avaliada, comprovada por meio do teste t-

student e ratificada por meio de t-Bonferroni. Ou seja, nos grupos com menor intensidade da cor laranja de epicarpo e a interação dos grupos com a temperatura resultaram em maior teor de β -caroteno.

A diferença na resposta do teor de β -caroteno entre os grupos pode ser explicada pelas diferenças existentes na composição do mesocarpo dos mesmos. Segundo Rodriguez-Amaya (2001), a estabilidade dos carotenoides está relacionada não só com as condições externas, mas também com a matriz do alimento, podendo diferir de alimento para alimento mesmo sob condições semelhantes de processamento ou estocagem.

A falta de efeito significativo da temperatura no teor de β -caroteno pode sugerir que nestas condições a temperatura de secagem de forma independente não afeta o teor de β -caroteno. Udomkum et al. (2015), ao estudarem a secagem convectiva de mamão (*Carica papaya* L.), obtiveram teores semelhantes de β -caroteno trabalhando com temperatura de 50 e 60°C e maior teor em temperatura de 70°C.

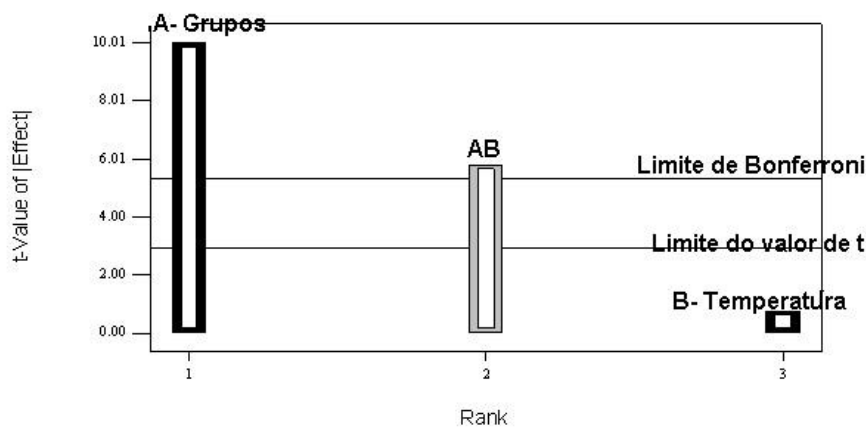


Figura 12. Resultados do efeito da temperatura de secagem e grupos sobre a composição de β -caroteno após desidratação do mesocarpo de tucumã, em nível de confiança de 90 % ($p < 0.1$). Símbolos: □ efeito positivo e ■ efeito negativo.

Para verificação da validação do modelo estatístico preditivo foi realizada a análise de variância (ANOVA) em nível de confiança de 90% (Tabela 13). O modelo obtido após a execução do planejamento fatorial apresentou uma curvatura significativa, o que indicou a não linearidade do modelo e, portanto, a necessidade de se pesquisar modelos matemáticos que sejam mais apropriados para explicar

melhor estas interações, a fim de permitir uma análise rigorosa dos resultados experimentais.

Tabela 13. Resultados da análise de variância (ANOVA) para o modelo que ajusta a curvatura referente ao teor de β -caroteno, em função da temperatura e dos grupos na secagem do mesocarpo de tucumã, em nível de confiança de 90 % ($p < 0.1$).

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Grau de liberdade	Média quadrática	F calculado	p-valor Prob > F
Modelo	29.21	3	9.74	44.81	0.0219*
A-Grupo	21.76	1	21.76	100.18	0.0098*
B-Temperatura	0.13	1	0.13	0.58	0.5258
AB	7.32	1	7.32	33.68	0.0284*
Curvatura	32.95	1	32.95	151.68	0.0065*
Erro Puro	0.43	2	0.22		
Total	62.59	6			

*Estatisticamente significativo em nível de significância de 90%.

Embora o efeito da temperatura não tenha sido significativo, em nível de 90%, de acordo com o critério de hierarquia, como a interação entre as variáveis 'grupos' e 'temperatura' foi significativa, é necessário que haja a manutenção do termo da temperatura no modelo estatístico, a fim de garantir que o modelo seja hierárquico. Sendo assim, a relação entre as variáveis dependentes e independentes está representada por meio do gráfico de superfície de resposta (Figura 13). A região de máximos valores, em torno de $70 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ de β -caroteno, foi alcançada para os níveis mais baixos tanto para a variável grupos quanto para a temperatura, em nível de 90% de confiança.

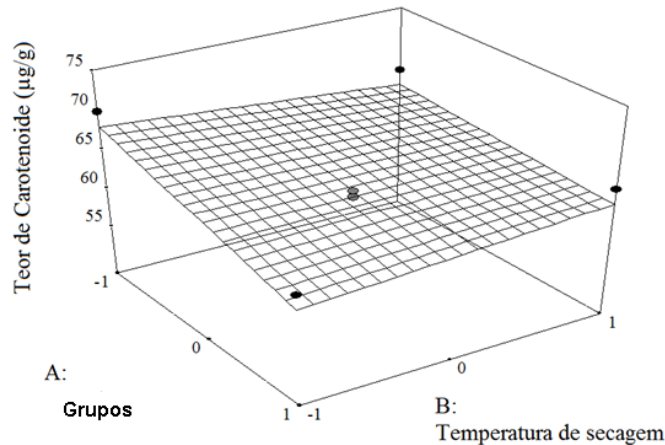


Figura 13. Superfície de resposta para teor de β -caroteno em função da temperatura de secagem e dos grupos avaliados no mesocarpo de tucumã, em nível de confiança de 90 % ($p < 0.1$).

5.5. Secagem do epicarpo

Devido à estrutura mais rígida do epicarpo, optou-se por trabalhar com maior faixa de temperatura durante as secagens. Foram adotadas as temperaturas de 50°C e 70°C para os grupos G1 e G3 e 60°C para o G2.

O monitoramento das condições relacionadas ao equipamento, tais como: temperatura do ar de entrada no secador (°C), temperatura do ar no leito (°C) e umidade relativa do ar de saída do secador (%) está disposto na Figura 14.

A temperatura de entrada do ar no equipamento permaneceu relativamente estável em todos os ensaios realizados, com máximo de oscilação de $\pm 1^\circ\text{C}$ (Figura 14a). A temperatura do leito também permaneceu praticamente constante durante a desidratação das amostras, mantendo-se de 47-48°C nos testes de menor temperatura de G1 e G3, 55-58°C para o ponto central de G2 e 64-66°C para o limite superior de G1 e G3 (Figura 14b). A umidade relativa na saída variou conforme a temperatura do ar de secagem, sendo menor nos ensaios com temperaturas mais altas. Este parâmetro apresentou discreto decaimento à medida que a umidade do produto também diminuiu, com oscilações de 7 a 9% nos ensaios com temperatura de 70°C, 10 a 12% na temperatura de 60°C e 12 a 16% quando utilizada a temperatura de 50°C (Figura 14c).

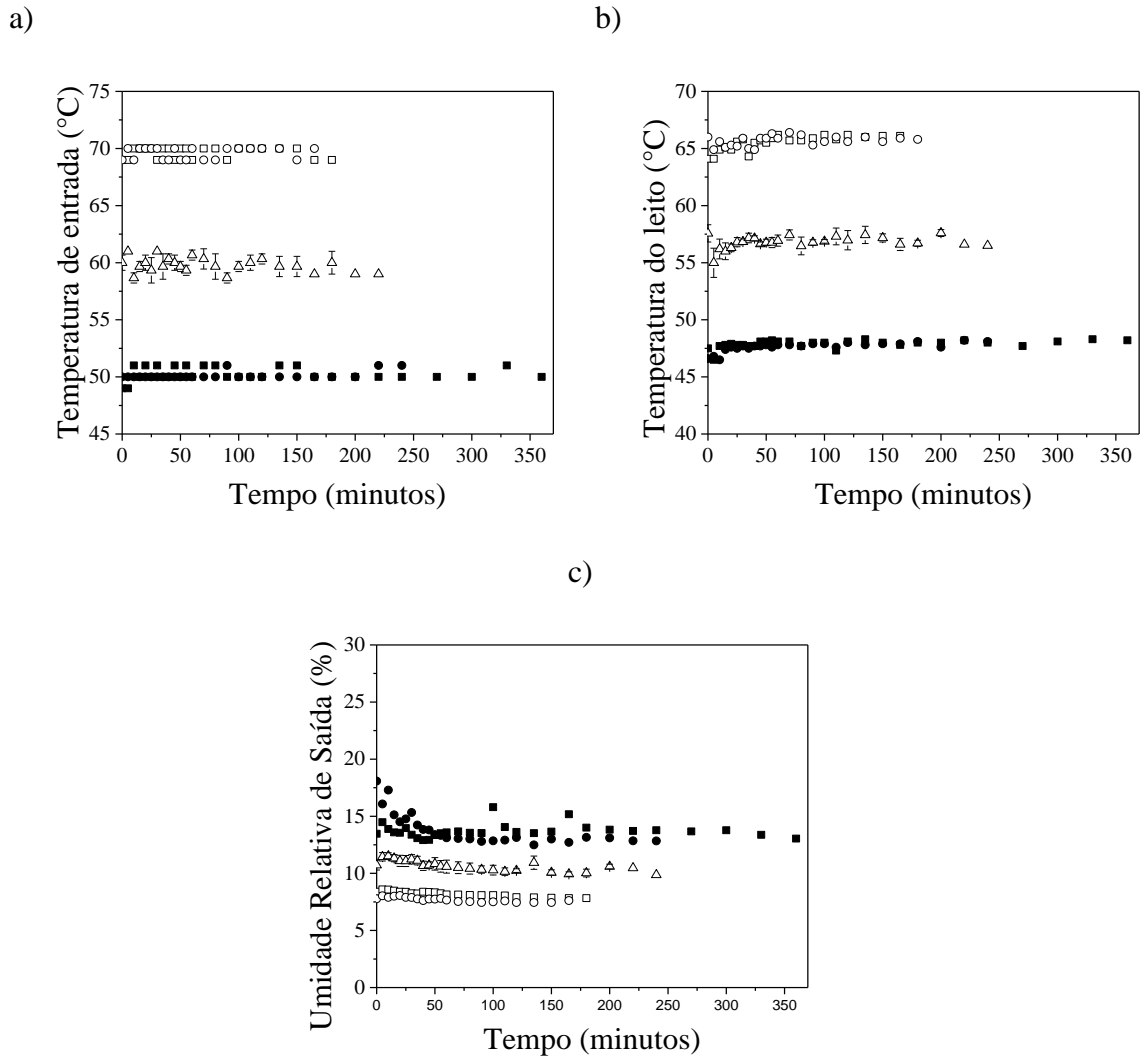


Figura 14. Monitoramento da performance do sistema de secagem durante a desidratação do epicarpo de tucumã: a) temperatura do ar de entrada ($^{\circ}\text{C}$), b) temperatura do ar do leito ($^{\circ}\text{C}$) e c) umidade relativa do ar de saída (%). Símbolos: ■ epicarpo G3 a 50°C , □ epicarpo G3 a 70°C , ● epicarpo G1 a 50°C , ○ epicarpo G1 a 70°C , Δ epicarpo G2 a 60°C .

As condições do ar ambiente durante as secagens estão expostas na Figura 15. Durante todos os ensaios, a temperatura do ar ambiente variou entre 23 a 27°C . As maiores diferenças foram registradas nos primeiros 30 minutos para as secagens realizadas a 50°C , com maior temperatura para o G1 (15a). A umidade relativa teve amplitude de variação de 26 a 36% em todos os experimentos. Entre os ensaios realizados a 70°C , maiores registros de umidade relativa foram observados no ensaio G3.

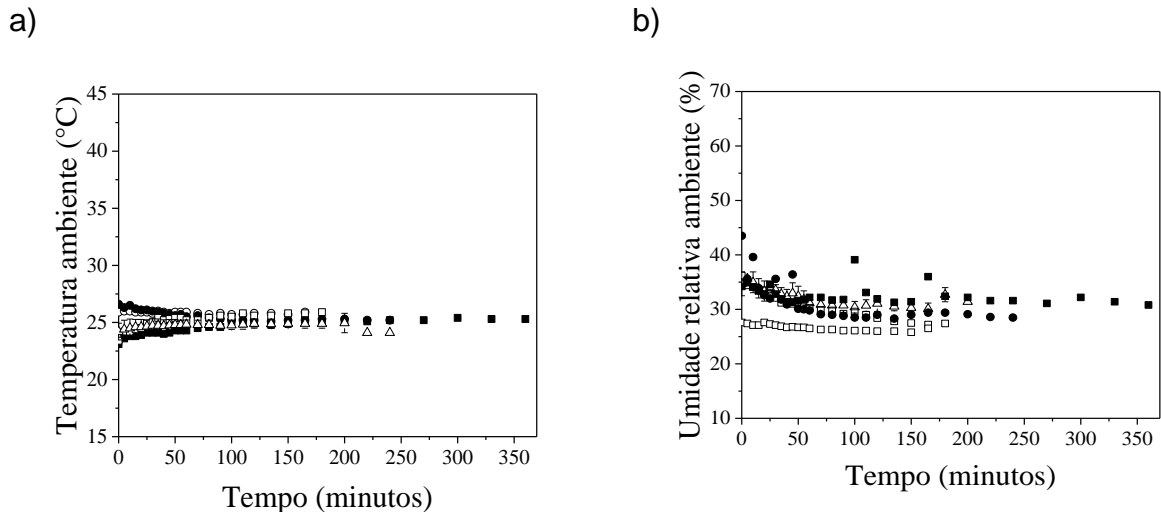


Figura 15. Monitoramento do ar ambiente durante a desidratação do epicarpo de tucumã: a) temperatura do ar ambiente (°C) e b) umidade relativa do ar ambiente (%). Símbolos: ■ epicarpo G3 a 50°C, □ epicarpo G3 a 70°C, ● epicarpo G1 a 50°C, ○ mesocarpo G1 a 70°C e Δ epicarpo G2 a 60°C.

5.5.1. Cinética de secagem do epicarpo de tucumã

Na Figura 16 é apresentada a evolução da razão de umidade (RU) em base seca em função do tempo nos ensaios realizados. O tempo de secagem em todos os experimentos situou-se entre 165 a 360 minutos.

As curvas obtidas nos níveis estabelecidos no ponto central, mesocarpo G2 a 60°C (Figura 16a), se apresentaram semelhantes com pequenas flutuações no início da secagem, mostrando que os ensaios são reproduzíveis e confiáveis. O tempo de secagem requerido do ponto central foi de 220 minutos nas repetições 1 e 3 e 225 minutos para a repetição 2.

Ao analisar os extremos do planejamento (Figura 16b), foi observada perda de umidade mais rápida com incremento da temperatura. Embora o tempo de secagem obtido entre os grupos fosse diferente, o comportamento da secagem foi semelhante, com curvas justapostas quando avaliadas à mesma temperatura. O tempo de secagem requerido para a temperatura de 50°C foi de 240 e 360 minutos para G1 e G3, respectivamente. A 70°C o tempo de secagem foi reduzido para 165 no G1 e 180 minutos no G3. Na Figura 16c estão ilustradas as curvas de secagem de todos os ensaios. Pôde-se perceber que a temperatura exerceu influência na perda de umidade.

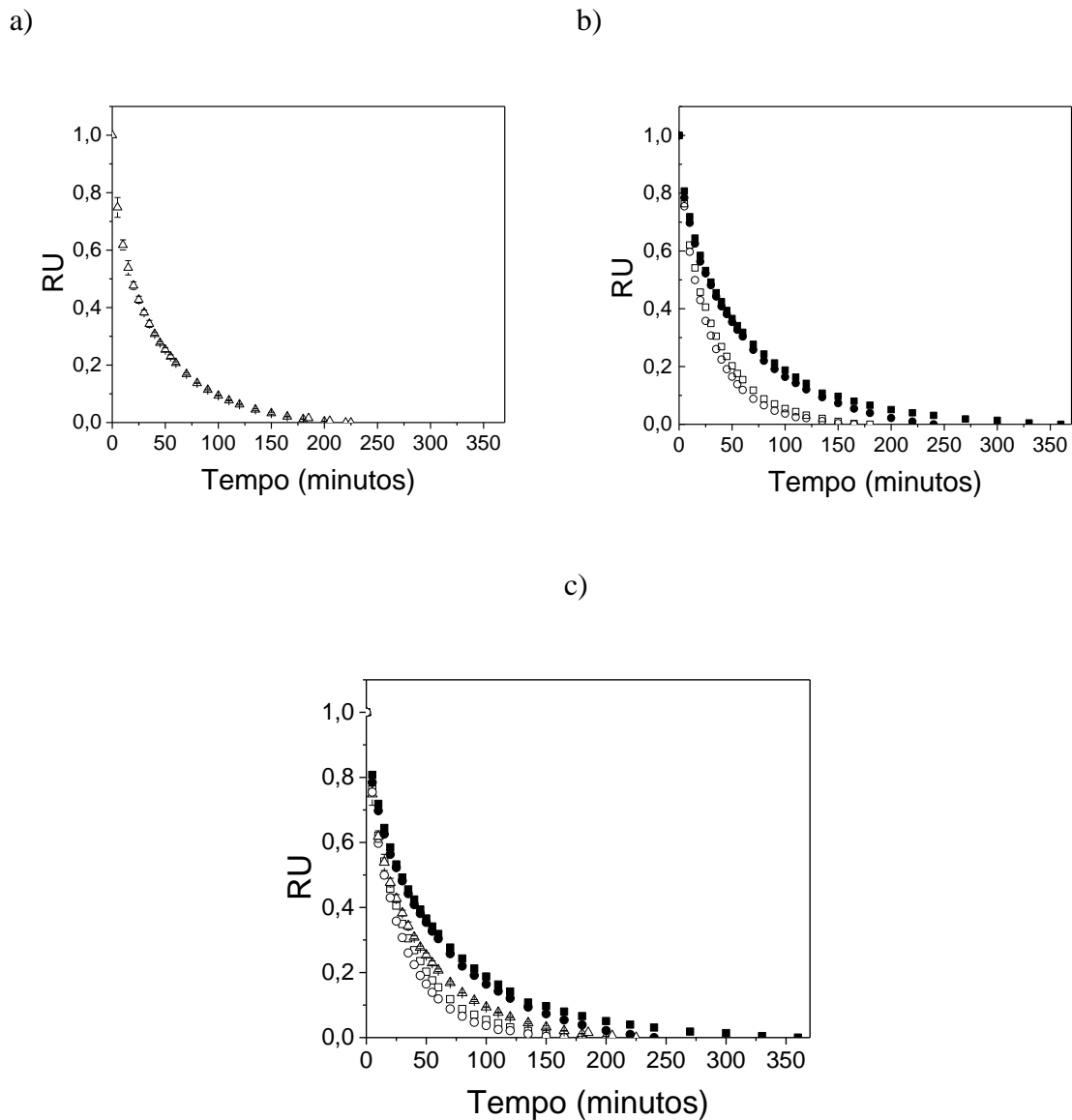


Figura 16. Curvas de umidade adimensional em função do tempo do epicarpo de tucumã em diferentes grupos: a) curva do ponto central do planejamento de experimentos (G2 a 60°C), b) curva do epicarpo G3 e G1 nas temperaturas de 50 e 70°C e c) curvas de todas as condições experimentais. Símbolos: ■ epicarpo G3 a 50°C, □ epicarpo G3 a 70°C, ● epicarpo G1 a 50°C, ○ epicarpo G1 a 70°C, Δ epicarpo G2.

Na figura 17 estão ilustradas as taxas de secagens em função da razão de umidade nos diferentes grupos. Semelhante ao mesocarpo, o epicarpo apresentou apenas um período de taxa decrescente. Ao observar todos os ensaios (Figura 17c) foi possível perceber que as taxas mais altas de secagem ocorreram nas temperaturas mais elevadas, com exceção do ponto central, que obteve a mais alta

taxa, por se tratar da amostra com maior teor de umidade inicial, com valores cerca de 19 a 38% superiores em relação aos demais ensaios.

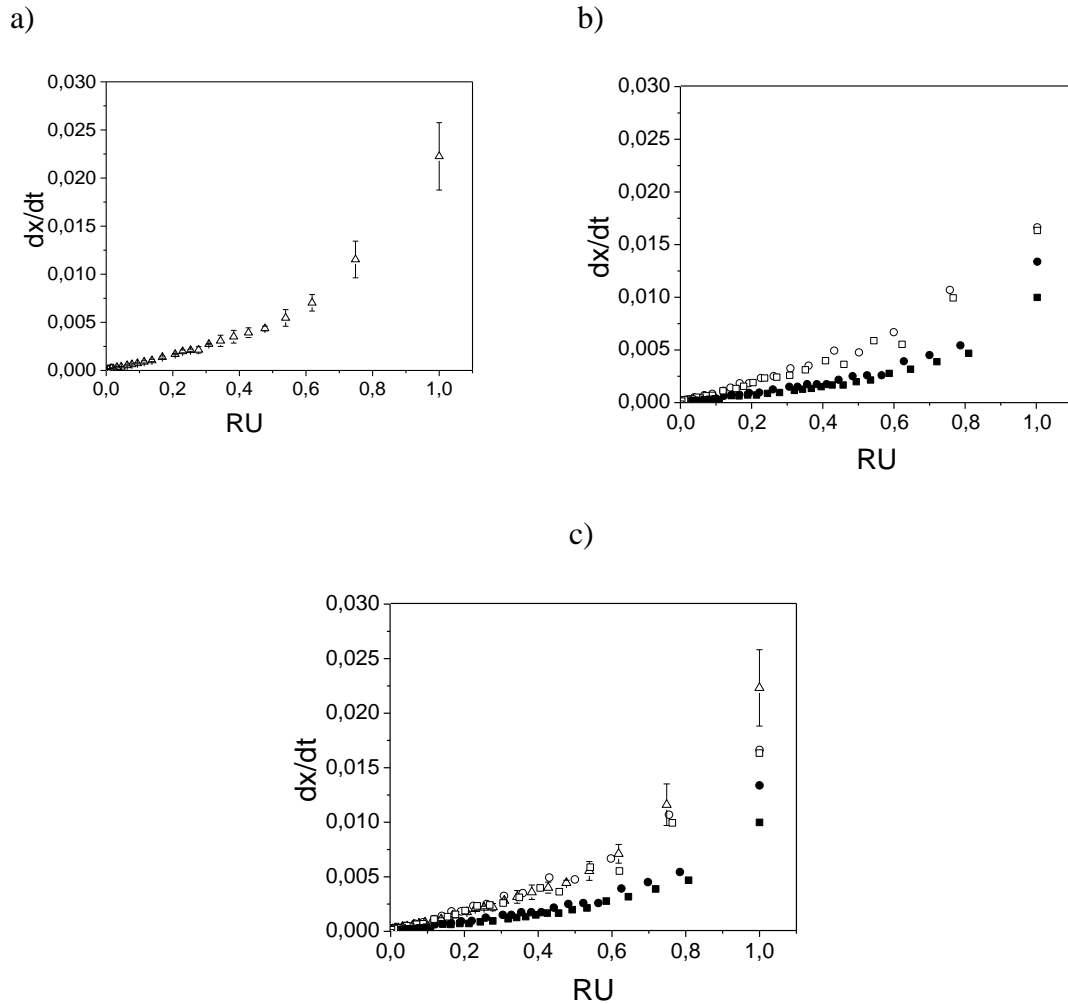


Figura 17. Curvas de taxa de secagem do epicarpo de tucumã em função da temperatura de secagem e dos grupos: a) curva do ponto central do planejamento de experimentos (G2 a 60°C), b) curva do epicarpo G3 e G1 nas temperaturas de 50 e 70°C, c) curvas de todas as condições experimentais. Símbolos: ■ epicarpo G3 a 50°C; □ epicarpo G3 a 70°C; ● epicarpo G1 a 50°C; ○ epicarpo G1 a 70°C; Δ epicarpo G2 a 60 °C.

5.5.2. Ajuste de modelos matemáticos para descrever a secagem do epicarpo de tucumã

Na Tabela 14 estão dispostos os coeficientes e parâmetros estatísticos para os modelos de Page, Henderson e Pabis e Newton das curvas de secagem do epicarpo de tucumã nas temperaturas 50, 60 e 70 °C.

Ao avaliar a qualidade do ajuste dos dados experimentais pelos modelos matemáticos empregados, observou-se ajuste satisfatório para os modelos analisados, com altos valores de coeficiente de determinação ($R^2 > 0,96$) e baixos valores de qui quadrado ($X^2 < 0,003$) em todos os ensaios. Semelhante ao mesocarpo, os melhores resultados foram obtidos por meio da equação de Page, com $R^2 > 0,99$ e $X^2 < 2,96 \cdot 10^{-4}$ (Tabela 14 e Figura 18).

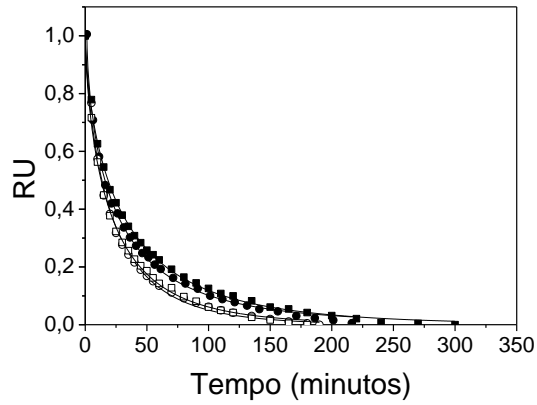
Ao comparar os valores dos coeficientes de secagem do epicarpo com os resultados obtidos para o mesocarpo (Tabela 10), os parâmetros dos ensaios G1 e G3, nos limites mínimos de temperatura trabalhados, apresentaram menores valores de k e maiores de n e a para o G1. Estes resultados estão associados à maior resistência à perda de massa, o que pôde ser observado por meio dos maiores tempos de secagem obtidos para epicarpo em relação ao mesocarpo nestes ensaios.

Tabela 14. Valores dos parâmetros de modelos para secagem do epicarpo de tucumã.

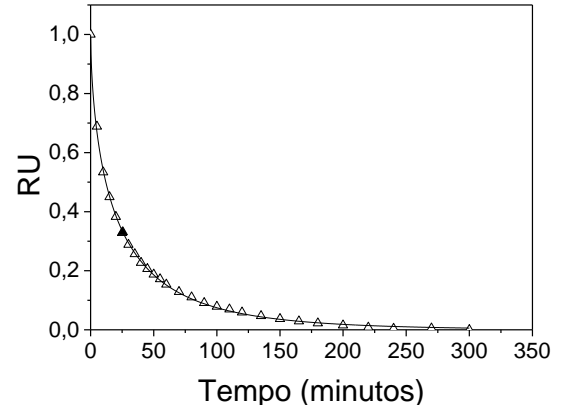
Modelo	Ensaio	Parâmetros dos modelos			Parâmetros estatísticos	
		k	N	a	R ²	X ²
Newton $RU = e^{-kt}$	G1/ 50°C	0,0218 ± 8,7.10 ⁻⁴			0,9624	0,0026
	G3/ 50°C	0,0204 ± 7,7.10 ⁻⁴			0,9660	0,0024
	G2/ 60°C *	0,031 ± 0,001			0,9649	0,0023
	G1/ 70°C	0,040 ± 0,001			0,9877	8,88.10 ⁻⁴
	G3/ 70°C	0,035 ± 0,001			0,9841	0,0011
Page $RU = e^{-kt^n}$	G1/ 50°C	0,060 ± 0,004	0,74 ± 0,02		0,9958	2,96.10 ⁻⁴
	G3/ 50°C	0,060 ± 0,002	0,728 ± 0,008		0,9989	7,49.10 ⁻⁵
	G2/ 60°C*	0,086 ± 0,004	0,72 ± 0,01		0,9980	1,33.10 ⁻⁴
	G1/ 70°C	0,076 ± 0,002	0,813 ± 0,008		0,9995	3,60.10 ⁻⁵
	G3/ 70°C	0,071 ± 0,003	0,80 ± 0,01		0,9990	7,42.10 ⁻⁵
Henderson e Pabis $R = a \times e^{-kt}$	G1/ 50°C	0,0184 ± 7,2. 10 ⁻⁴		0,88 ± 0,02	0,9843	0,0011
	G3/ 50°C	0,017 ± 0,001		0,88 ± 0,02	0,9850	0,0011
	G2/ 60°C*	0,026 ± 0,001		0,88 ± 0,02	0,9814	0,0012
	G1/ 70°C	0,037 ± 0,001		0,94 ± 0,02	0,9922	5,66.10 ⁻⁴
	G3/ 70°C	0,032 ± 0,001		0,92 ± 0,02	0,9908	6,59.10 ⁻⁴

*valor obtido por meio da média das repetições do ponto. central

a)



b)



c)

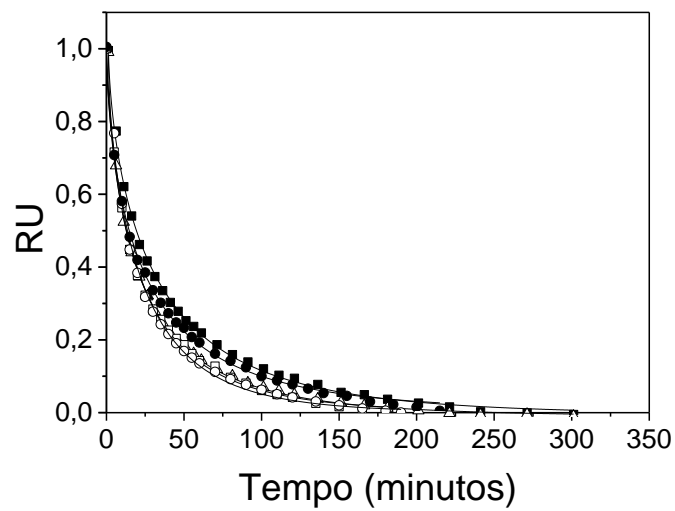


Figura 18. Adequação das curvas de secagem do epicarpo de tucumã ao modelo de Page: a) dados referentes a 60°C para epicarpo G2, b) resultados para 50 e 60°C do epicarpo G3 e G1 e c) todas as condições experimentais. Símbolos: ■ epicarpo G3 a 50°C; □ epicarpo G3 70°C; ● epicarpo G1 a 50°C; ○ epicarpo G1 a 70°C; Δ epicarpo G2 a 60 °C.

5.5.3. Caracterização físico-química das amostras de epicarpo após secagem

5.5.3.1. Atividade de água e umidade do epicarpo de tucumã pós-secagem

A Tabela 15 apresenta os resultados obtidos para aw do epicarpo nos períodos prévios e após a secagem dos frutos. Foram obtidos valores de atividade de água que variaram de 0,916 a 0,964 no epicarpo in natura e 0,17 a 0,32 no epicarpo desidratado, o que correspondeu a uma redução de 65 a 82% nos ensaios de secagens realizados. Além da segurança quanto aos parâmetros microbiológicos, a faixa de atividade de água encontrada para o epicarpo desidratado assegura maior estabilidade ao escurecimento não enzimático e atividade enzimática (BARBOSA CANOVAS et al., 2003).

Ao avaliar os ensaios, as secagens realizadas com G1 foram mais eficientes em reduzir a atividade de água (aw), tendo em vista que, nestes ensaios a redução de atividade de água foi maior e os tempos requeridos para as secagens foram menores quando comparados aos ensaios com G3 (Figura 9).

Com relação ao parâmetro umidade, os valores médios obtidos nos produtos desidratados variaram de 2,7 a 4,39 g.100g⁻¹, o que representou uma redução de 82 a 90% do teor de umidade antes da secagem. Estes valores foram semelhantes aos teores de umidade obtidos para o mesocarpo. Além disto, foi possível observar que estes valores não sofreram influência dos grupos ou da faixa de temperatura trabalhada.

De modo geral, tanto a perda de umidade quanto a diminuição da atividade de água foram maiores nos ensaios com maior temperatura.

Tabela 15. Atividade de água e teor de umidade nos diferentes ensaios com epicarpo.

Ensaio	Atividade de água (Aw)			Umidade (g.100g ⁻¹)		
	Antes da secagem	Após a secagem	P%	Antes da secagem	Após a secagem	P%
G1/ 50°C	0,94 ± 0,01	0,22 ± 0,01	77	25 ± 1	3,8 ± 0,3	85
G3/ 50°C	0,93 ± 0,01	0,257 ± 0,002	72	21,3 ± 0,5	3,8 ± 0,1	82
G1/ 70°C	0,946 ± 0,002	0,17 ± 0,05	82	25 ± 1	2,7 ± 0,3	89
G3/ 70°C	0,964 ± 0,001	0,26 ± 0,07	73	27,8 ± 0,6	2,8 ± 0,1	90
G2/ 60°C 1	0,939 ± 0,002	0,25 ± 0,01	73	33 ± 1	4,4 ± 0,2	87
G2/ 60°C 2	0,934 ± 0,002	0,293 ± 0,003	69	35 ± 1	4,39 ± 0,06	88
G2/ 60°C 3	0,916 ± 0,003	0,32 ± 0,06	65	32,8 ± 0,6	4,0 ± 0,2	88

5.5.3.2. Retenção de β -caroteno no epicarpo de tucumã

Os teores médios de β -caroteno no produto seco variaram de 88 a 114 $\mu\text{g.g}^{-1}$, em base seca. Estes valores representaram uma retenção de 63 a 108 % de β -caroteno com relação ao produto in natura. Os maiores percentuais de retenção foram encontrados nos ensaios do G2 a 60°C (Tabela 16).

Os percentuais de retenção a 50°C foram menores quando comparados às retenções encontradas no mesocarpo à mesma temperatura. Estes resultados podem estar relacionados ao maior tempo de secagem requerido para equilíbrio nas frações do epicarpo. Os ensaios às maiores temperaturas (70°C) também apresentaram menores retenções de β -caroteno no epicarpo. Entretanto, quando avaliada a cinética de secagem, foram obtidos tempos semelhantes para desidratação, com temperaturas cerca de 10°C superiores àquelas empregadas para o mesocarpo. Neste caso, a temperatura exerceu maior influência na retenção de β -caroteno. Com relação aos ensaios realizados no ponto central, foi possível obter melhores resultados quanto ao quesito em questão. Isto pode ser atribuído à associação entre o tempo e a temperatura, como também às características físico-químicas destes frutos. Comparando-se aos ensaios com mesocarpo no ponto central, foram observadas maiores preservações no epicarpo, o que pode ser atribuído ao menor tempo de secagem do mesmo.

Tabela 16. Teores de β -caroteno do epicarpo de tucumã in natura e desidratado, em base seca e percentual de retenção no produto pós-secagem.

Ensaio	In natura ($\mu\text{g.g}^{-1}$)	Desidratado ($\mu\text{g.g}^{-1}$)	Retenção (%)
G1 a 50°C	114 \pm 8	78 \pm 8	68 \pm 7
G3 a 50°C	112 \pm 10	70 \pm 5	63 \pm 5
G1 a 70°C	114 \pm 8	72 \pm 3	63 \pm 3
G3 a 70°C	112 \pm 10	84 \pm 9	75 \pm 8
G2 a 60°C 1	88 \pm 11	93 \pm 4	105 \pm 4
G2 a 60°C 2	88 \pm 11	95 \pm 28	108 \pm 32
G2 a 60°C 3	88 \pm 11	93 \pm 41	104 \pm 47

5.5.4. Planejamento de experimentos para avaliar os efeitos das variáveis temperatura de secagem e grupos durante a desidratação do epicarpo de tucumã

A fim de verificar a influência do delineamento experimental no teor de β -caroteno, expresso em base úmida, foi obtida a matriz conforme Tabela 17.

Tabela 17. Resultados do planejamento 2^2 , com três pontos centrais, para secagem convectiva do epicarpo de tucumã sob fluxo constante de 10,5 m/s.

Ensaio	Variáveis independentes		Variável dependente
	Grupos	Temperatura	β -caroteno
1	-1	-1	74,57
2	1	-1	67,56
3	-1	1	70,07
4	1	1	81,40
5	0	0	88,81
6	0	0	91,18
7	0	0	88,27

Com base nos dados obtidos no gráfico de Pareto (Figura 19), foi possível observar efeito positivo e significativo da temperatura e efeito negativo e não significativo dos grupos. Como no caso anterior, a interação entre os grupos e a temperatura repercutiu em efeito positivo e significativo e de forma mais elevada que o efeito da temperatura isoladamente.

Embora se saiba que a temperatura afeta o teor de β -caroteno, a relação direta entre temperatura com o teor de β -caroteno encontrada neste estudo sugere que, o efeito do tempo de secagem exerceu maior influência neste parâmetro porque a secagem em maior temperatura resultou em menor tempo de secagem. Somado a isto, por se tratar de sistema aberto de secagem, com possibilidade de incidência de luz, o aumento no tempo de secagem, em decorrência de menores temperaturas, aumenta a exposição à oxidação.

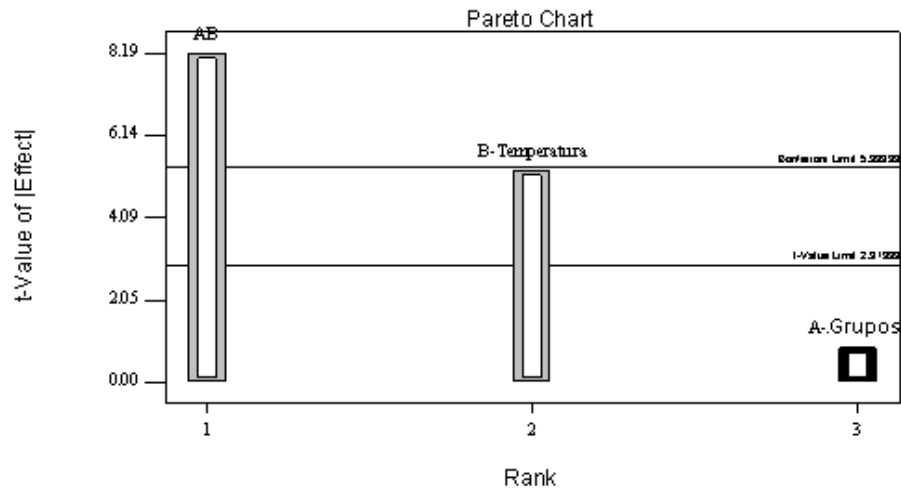


Figura 19. Resultados do efeito da temperatura de secagem e dos grupos sobre a composição de β -caroteno após desidratação do epicarpo de tucumã, em nível de confiança de 90 % ($p < 0.1$). Símbolos: □ efeito positivo e ■ efeito negativo.

Por meio da análise de variância (ANOVA) para verificação da validação do modelo estatístico preditivo, em nível de confiança de 90% (Tabela 18), foi verificada inclinação significativa, indicando a não linearidade do modelo para descrever os resultados obtidos, havendo, portanto, a necessidade de se pesquisar modelos matemáticos que sejam mais apropriados.

Ao avaliar a relação entre as variáveis dependentes e independentes, por meio do gráfico de superfície de resposta (Figura 20), foi obtido máximo de β -caroteno, em torno de $81 \mu\text{g.g}^{-1}$, para maiores temperaturas e grupos, a um intervalo de 90% de confiança.

Tabela 18. Resultados da análise de variância (ANOVA) para variável tempo de secagem da casca, em nível de confiança de 90%.

Parâmetros	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Média Valor de quadrática calculado	F	p-valor Prob > F
Modelo	229.07	3	76.36	33.83	0.0289*
A- Grupo	1.80	1	1.80	0.80	0.4666
B-Temperatura	66.75	1	66.75	29.57	0.0322*
AB	160.53	1	160.53	71.11	0.0138*
Curvatura	539.70	1	539.70	239.08	0.0042*
Erro Puro	4.51	2	2.26		
Total	773.29	6			

*Representam valores significativos em nível de confiança de 90%.

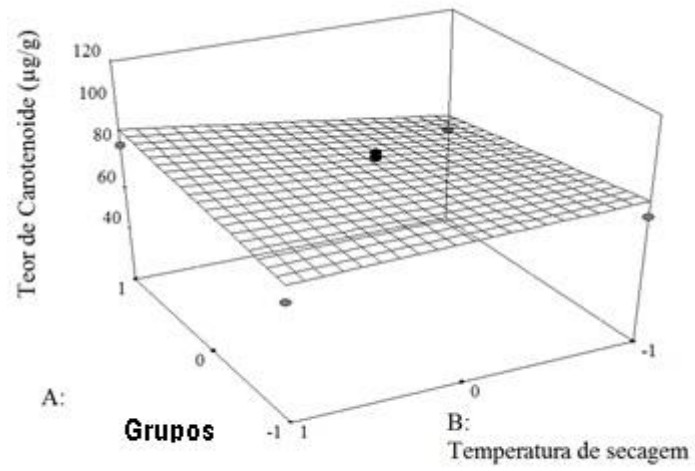


Figura 20. Superfície de resposta para teor de β -caroteno em função da temperatura de secagem e dos grupos no epicarpo do fruto de tucumã em nível de confiança de 90 % ($p < 0.1$).

6. CONCLUSÕES

- A avaliação da caracterização físico-química de frutos de tucumã revelou seu potencial nutricional e os valores de composição de β -caroteno observados são muito atrativos para a formulação de alimentos com propriedades funcionais com possíveis aplicações no combate ou prevenção de hipovitaminose A.
- O perfil de ácidos graxos foi predominante em C18:1 em ambas as frações estudadas, mesocarpo e epicarpo. Contudo, uma observação relevante é que o epicarpo apresentou menor composição de ácidos graxos aterogênicos comparativamente com o mesocarpo. Isto pode ser um aspecto positivo visando à formulação de um produto a base de farelo de casca de tucumã de maior valor agregado.
- Com relação ao pré-processamento dos frutos por meio da secagem, os resultados foram atrativos, pois revelaram que, além de aumentar a vida de prateleira do produto, as propriedades de composição de carotenoides foram preservadas em níveis satisfatórios para manter seus benefícios funcionais.
- O emprego de modelos matemáticos para ajustar os dados das secagens indicou que a correlação de Page apresentou a melhor performance. Estes resultados são importantes para o desenvolvimento de equipamentos e adoção de parâmetros de processo de secagem em escala de planta piloto ou industrial.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aral, S., Beşe, A. V. (2016). Convective drying of hawthorn fruit (*Crataegus spp.*): Effect of experimental parameters on drying kinetics, color, shrinkage, and rehydration capacity. *Food chemistry*, 210: 577-584.
- Arima H. K., Rodriguez-Amaya D. B. (1988) Carotenoid composition and vitamin A value of commercial Brazilian squashes and pumpkins. *J Micronutr Anal* 4:177-191
- Association of Official Analytical Chemists (1998). Official Methods of Analysis of the AOAC. 16. ed. Washington, DC.
- Barbosa Canovas, G., Fernandez-Molina, J. J., Alzamora, S. M., Tapia, M. S., Lopez-Malo, A., & Welti Chanes, J. (2003). Handling and preservation of fruits and vegetables by combined methods for rural areas: technical manual. FAO, Roma (Italia)..
- Bligh, E. G., Dyer, W. J. (1959). A rapid method of total lipid extraction and purification. *Canadian journal of biochemistry and physiology*, 37(8): 911-917.
- Bora, P. S., Narain, N., Rocha, R. V. M., Monteiro, A. C. de O., Moreira, R de A. (2001). Characterisation of the oil and protein fractions of tucuma (*Astrocaryum vulgare* Mart.) fruit pulp and seed kernel. *CYTA-Journal of Food*, 3(2): 111-116.
- Brown, G. G., Foust, A. S., Katz, D. L. V. (1950). *Unit operations*. New York: Wiley.

- Bruce, D.M. (1985). Exposed-layer barley drying, three models fitted to new data up to 150°C. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 32:337–347.
- Chitarra, M. I. F.; Chitarra, A. B. (2005) Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio. Lavras: UFLA.
- Costa, J. R. da., Leeuwen, J. van., Costa, J. A.(2011). Tucumã of Amazonas *Astrocaryum aculeatum* G. Mey. In: Shanley, P., Cymerys, M., Serra, M., Medina, G. *Fruit trees and useful plants in Amazonian life*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), p. 205-2013.
- de Rosso, V. V., Mercadante, A. Z. (2007). Identification and quantification of carotenoids, by HPLC-PDA-MS/MS, from Amazonian fruits. *Journal of agricultural and food chemistry*, 55(13), 5062-5072.
- Didonet, A. A. (2012). *O mercado de um produto florestal não madeireiro e o resíduo sólido gerado pela sua comercialização: o caso do tucumã (Astrocaryum aculeatum G. Mey.) nas feiras de Manaus*. Dissertação (Mestrado em Ciências de Florestas Tropicais) – Manaus – AM, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA, 77p
- Didonet, A. A., Ferraz, I. D. K. (2014). Fruit trade of tucuma (*Astrocaryum aculeatum* G. Mey-Arecaceae) at local market-places in Manaus (Amazonas, Brazil). *Revista Brasileira de Fruticultura*, 36(2): 353-362.
- Elias, M. E. D. A. (2011). *Maturação fisiológica de sementes de tucumã (Astrocaryum aculeatum G. Mey. Arecaceae) em uma área da Amazônia central*. Tese (Doutorado em Agronomia Tropical) – Manaus – AM, Universidade Federal do Amazonas – UFAM, 121p.
- Erbay, Z., Icier, F. (2010). A review of thin layer drying of foods: theory, modeling, and experimental results. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 50(5), 441-464.
- FAO. (1986). *Food fruit-bearing forest species 3: Examples from Latin America*. Rome: FAO Forestry Paper, p. 307.
- Ferreira, S. A. do N., Gentil, D. F. de O. (2006). Extração, embebição e germinação de sementes de tucumã (*Astrocaryum aculeatum*). *Acta Amazonica.*, 36(2): 141 -146.
- Ferrer, A., Remón, S., Negueruela, A. I., Oria, R. (2005). Changes during the ripening of the very late season Spanish peach cultivar Calanda: feasibility

- of using CIELAB coordinates as maturity indices. *Scientia Horticulturae*, 105(4), 435-446.
- Firestone, D. (2006). Physical and chemical characteristics of oils, fats, and waxes (pp. 56-101). Champaign, IL: AOCS press.
- Flor, N. S. (2013). *Conservação da polpa e elaboração da pasta de tucumã* (*Astrocaryum aculeatum* G. Mey.). Dissertação (Mestrado em Agricultura no Trópico Úmido) - Manaus - AM, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA, 57p.
- Gentil, D. F. de O., Ferreira, S. A. do N. (2005). Morfologia da plântula em desenvolvimento de *Astrocaryum aculeatum* Meyer (Arecaceae). *Acta amazonica*, 35(3): 337-341.
- Gomes, J. C., Silva, M., Silva, C. (2003). Análise de alimentos. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Tecnologia de Alimentos. Viçosa: Fundação Arthur Bernardes.
- Hall, N. T., Smoot, J. M., Knight Jr, R. J., Nagy, S. (1980). Protein and amino acid compositions of ten tropical fruits by gas-liquid chromatography. *Journal of agricultural and food chemistry*, 28(6): 1217-1221.
- Henderson, S. M. (1974). Progress in developing the thin layer drying equation. *Trans. ASAE*. 17:1167–1172.
- Henderson, S. M.; Pabis, S. (1961). Grain drying theory In: Temperature effect on drying coefficient. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 6(3), 169-174.
- Huyskens S, Timberg R, Gross J (1985) Pigment and plastid ultra-structural changes in kumquat (*Fortunella margarita*) “Nagami” during ripening. *J Plant Physiol* 118:61-72
- Instituto Adolfo Lutz - IAL. (2008). Métodos físico-químicos para análise de alimentos. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz. 1020p.
- Jangam, S. V., Law, C. L., Mujumdar, A. S. (2010). *Drying of Foods, Vegetables and Fruits*, 232p
- Keey, R. B. (1972). *Drying principles and practice*. ed. Oxford, New York: Pergamon Press, 358 p.
- Kjeldahl, J. G. C. T. (1883). Neue methode zur bestimmung des stickstoffs in organischen körpern. *Fresenius' Journal of Analytical Chemistry*, 22(1), 366-382.

- Leitão, A. M. (2008). Caracterização morfológica e físico-química de frutos e sementes de *Astrocaryum aculeatum* Meyer (Arecaceae) de uma floresta secundária. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) – Manaus – AM, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia e Universidade Federal do Amazonas – INPA e UFAM, 104p.
- Lewis, W.K. (1921). The rate of drying of solid materials. *J. Ind. Eng. Chem.* 13 (5):427-432.
- Lorenzi, H., Noblick, L., Kahn, F., Ferreira, E. (2010). *Flora brasileira Lorenzi: Arecaceae (palmeiras)*. Nova Odessa: Instituto Plantarum, p.43.
- Maia, E. L. (1992) *Otimização da Metodologia para a Caracterização de Constituintes Lipídicos e Determinação da Composição em Ácidos Graxos e Aminoácidos de Peixes de Água Doce*. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Campinas – SP, Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, 242p.
- Mambrim, M. C. T., Barrera-Arellano, D. (1997). Caracterización de aceites de frutos de palmeras de la región amazónica del Brasil. *Grasas y aceites*, 48(3): 154-158.
- Marques, A., Chicaybam, G., Araujo, M. T., Manhães, L. R. T., Sabaa-Srur, A. U. (2010). Composição centesimal e de minerais de epicarpo e mesocarpo de manga (*Mangifera indica* L.) cv. Tommy atkins. *Revista Brasileira Fruticultura*, 32 (4):1206-1210.
- MCGUIRE, R.G. (1992). Reporting of objective colour measurements. *HortScience*, 27 (12):1254-1255.
- McMinn, W. A. M., Magee, T. R. A. (1999). Principles, methods and applications of the convective drying of foodstuffs. *Food and Bioproducts Processing*, 77(3): 175-193
- Moussa, F., Kahn, F. (1997). Uso y potencial economico de dos palmas, *Astrocaryum aculeatum* Meyer y *A. vulgare* Martius, en la Amazonia brasileña. *Quito: Abya-Yala*: 101-116
- Mulet, A. (1994). Drying modelling and water diffusivity in carrots and potatoes, *J Fd Engng*, 22: 329– 348.
- Nazário, P., Ferreira, S. A. D. N. (2010). Emergência de plântulas de *Astrocaryum aculeatum* G. May. em função da temperatura e do período de embebição das sementes. *Acta amazonica*, 40(1): 165-170.

- Nowak, V., Du, J., & Charrondi re, U. R. (2016). Assessment of the nutritional composition of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Food chemistry*, 193, 47-54.
- Oboh, F. O. J., Oderinde, R. A. (1988). Analysis of the pulp and pulp oil of the tucum (*Astrocaryum vulgare* Mart) fruit. *Food chemistry*, 30(4): 277-287.
- Page, G. E. (1949). Factors Influencing the Maximum Rates of Air Drying Shelled Corn in Thin layers.
- Parti, M. (1993). Selection of mathematical models for drying in thin layers. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 54:339–352.
- Rodriguez-Amaya, D. B. (2001). A guide to carotenoid analysis in foods (p. 65). Washington, DC: ILSI press.
- Rodriguez-Amaya, D. B., Kimura, M., Amaya-Farfan, J. (2008). Fontes brasileiras de carotenóides: tabela brasileira de composi o de carotenóides em alimentos. Ministério do Meio Ambiente, Departamento de Conserva o da Biodiversidade.
- Rodriguez-Amaya, D. B, Kimura M (1989) Carotenóides e valor de vitamina A em caj  (Spondias lutea). *Cienc Tecnol Aliment* 9:148-162
- Sampaio, R. M, Neto Monteles, J. P, Perez, V. H, Marcos, S. K, Boizan, M. A., da Silva, L. R.(2015) Mathematical modeling of drying kinetics of persimmon fruits (*Diospyros kaki* cv. Fuyu). *Journal of Food Processing and Preservation*, 45: 255-259
- Sanjinez-Argando a, E. J., Chuba, C. A. M. (2011). Caracteriza o biométrica, física e química de frutos da palmeira bocaiuva *Acrocomia aculeata* (Jacq) Lodd. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 33(3): 1023-1028
- Santos RD, Gagliardi ACM, Xavier HT, Magnoni CD, Cassani R, Lottenberg AMP, Casella Filho A, Araújo DB, Cesena FY, Alves RJ, Fenelon G, Nishioka SAD, Faludi AA, Geloneze B, Scherr C, Kovacs C, Tomazzela C, Carla C, Barrera-Arellano D, Cintra D, Quintão E, Nakandakare ER, Fonseca FAH, Pimentel I, Santos JE, Bertolami MC, Rogero M, Izar MCO, Nakasato M, Damasceno NRT, Maranhão R, Cassani RSL, Perim R, Ramos S. (2013). I Diretriz sobre o consumo de gorduras e saúde cardiovascular. *Arquivos Brasileiros de Cardiologia*, 100(1), 49p.
- Schroth, G., da Mota, M. S. S., Lopes, R., de Freitas, A. F. (2004). Extractive use, management and in situ domestication of a weedy palm, *Astrocaryum*

- tucuma*, in the central Amazon. *Forest Ecology and Management*, 202(1): 161-179.
- Simões, D. L. V. (2010). *Composição nutricional e elaboração do biscoito e da barra de cereal do fruto de Tucumã (Astrocaryum vulgare Mart.)*. Dissertação (Mestrado em Tecnologia e Segurança Alimentar) - Almada - DS, Faculdade de Ciências e Tecnologia de Nova de Lisboa - FCT, 59p.
- Siqueira, F. C. de. Obtenção da polpa de tucumã (*Astrocaryum vulgare Mart.*) desidratada visando a preservação dos carotenoides (2014). Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Belém - PA, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará - UFPA, 79p
- Suarez, C., Viollaz, P., and Chirife, J. (1980). Kinetics of Soybean Drying n: Drying'80. pp. 251–255. Mujumdar, A.S. Eds. Hemisphere Publishing Company, Washington DC.
- Wilberg, V. C., Rodriguez-Amaya, D. B. (1995). HPLC quantitation of major carotenoids of fresh and processed guava, mango and papaya. *LWT-Food Science and Technology*, 28(5): 474-480.
- Tabela Brasileira de Composição de Alimentos - TACO(2011). Universidade Estadual de Campinas. Núcleo de Estudos e Pesquisas em Alimentação. 4ª Ed. Campinas, São Paulo, 161 p.
- Udomkun, P., Nagle, M., Mahayothee, B., Nohr, D., Koza, A., Müller, J. (2015). Influence of air drying properties on non-enzymatic browning, major bio-active compounds and antioxidant capacity of osmotically pretreated papaya. *LWT-Food Science and Technology*, 60(2), 914-922.
- Vasconcelos, B. E. C. Avaliação das características físicas, químicas e nutricionais dos óleos do tucumã (*Astrocaryum aculeatum e Astrocaryum vulgare*) obtidos com co2 pressurizado (2010). Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Belém - PA, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará - UFPA, 113p
- Vásquez-Parra, J. E., Ochoa-Martínez, C. I., Bustos-Parra, M. (2013). Effect of chemical and physical pretreatments on the convective drying of cape gooseberry fruits (*Physalis peruviana*). *Journal of Food Engineering*, 119(3): 648-654.
- Yuyama, L. K. O., Aguiar, J. P. L., Filho, D. F. S., Yuyama, K., Varejão, M. de J., Fávaro, D. I. T., Vasconcellos, M. B. A., Pimentel, S. A. , Caruso, M. S. F.

- (2011). Caracterização físico-química do suco de açai de Euterpe precatoria Mart. oriundo de diferentes ecossistemas amazônicos. *Acta Amazonia*, 41(4): 545 - 552.
- Yuyama, L. K. O., Aguiar, J. P. L., Teixeira, A. P., Lopes, T. M., Yuyama, K., Kávaro, D. I. T., Vasconcellos, M. B (2005). Polpa e casca de tucumã (*Astrocaryum aculeatum* Meyer): quais os constituintes nutricionais. *Nutrire: Rev. Soc. Bras. Alim. Nutr*, São Paulo, v. 30, p. 332,
- Yuyama, L. K. O., Maeda, R. N., Pantoja, L., Aguiar, J. P. L., Marinho, H. A. (2008). Processamento e avaliação da vida-de-prateleira do tucumã (*Astrocaryum aculeatum* Meyer) desidratado e pulverizado. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 28(2):408-412.