



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de São José do Rio Preto

Maron Stanley Silva Oliveira Gomes

**POTENCIAL TECNOLÓGICO DA FARINHA DA AMÊNDOA DO COCO
BABAÇU (*Orbignya sp*) E SUA SECAGEM CONVECTIVA EM LEITO
FIXO**

São José do Rio Preto - SP

2017

MARON STANLEY SILVA OLIVEIRA GOMES

**POTENCIAL TECNOLÓGICO DA FARINHA DA AMÊNDOA DO COCO
BABAÇU (*Orbignya sp*) E SUA SECAGEM CONVECTIVA EM LEITO
FIXO**

Tese apresentada ao Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de São José do Rio Preto, para a obtenção do título de Doutor em Engenharia e Ciência de Alimentos (Área de Concentração: Ciência e Tecnologia de Alimentos)

Orientador: Prof. Dr. Javier Telis Romero

Co-Orientador: Prof. Dr. José Francisco Lopes Filho

São José do Rio Preto - SP

2017

Gomes, Maron Stanley Silva Oliveira.

Potencial tecnológico da farinha da amêndoa do coco babaçu
(Orbignya Sp) e sua secagem convectiva em leito fixo / Maron Stanley Silva
Oliveira Gomes -- São José do Rio Preto, 2017
139 f. : il.

Orientador: Javier Telis Romero

Coorientador: José Francisco Lopes Filho

Tese (doutorado) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de
Mesquita Filho”, Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas

1. Tecnologia de alimentos. 2. Secagem. 3. Babaçu. 3. Farinhas. 4. Alimentos
funcionais. 5. Alimentos - Desidratação. I. Universidade Estadual Paulista "Júlio de
Mesquita Filho". Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas. II. Título.

CDU – 664.028

**POTENCIAL TECNOLÓGICO DA FARINHA DA AMÊNDOA DO COCO
BABAÇU (*Orbignya sp*) E SUA SECAGEM CONVECTIVA EM LEITO
FIXO**

COMISSÃO JULGADORA

TESE PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE DOUTOR

Prof. Dr. Javier Telis Romero

(Orientador – DETA/IBILCE/UNESP)

Prof. Dr. Roger Darros-Barbosa

(Titular – DETA/IBILCE/UNESP)

Prof. Dr. José Antonio Gomes Vieira

(Titular – DETA/IBILCE/UNESP)

Profa. Dra. Patrícia Maria Onofre Colombo Silva

(Titular – Faculdades Integradas Dom Pedro II)

Prof. Dr. Rodrigo Corrêa Basso

(Titular – IQ/UNIFAL)

SOBRE O AUTOR



Maron Stanley Silva Oliveira Gomes, nascido em 20 de setembro de 1985, na cidade de Esperantinópolis (MA), formou-se em Licenciatura em Química pela Universidade Federal do Piauí no fim de 2007.

Como acadêmico de Química desenvolveu projetos nas áreas de Ensino de Química, Química Analítica e Química Teórica, todos orientados pelo Prof. Dr. José Machado Moita Neto.

Em dezembro de 2009 concluiu o mestrado em Química, na área de Físico-Química pela Universidade Federal do Piauí com bolsa fomentada pelo CNPq sob a orientação do Prof. Dr. José Machado Moita Neto.

Desde 2008 é professor efetivo do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão, Campus Bacabal, atuando nos cursos: Técnico em Química, Licenciatura em Química e Superior em Tecnologia de Alimentos, onde também é orientador de Iniciação Científica.

Em 2013 ingressou no curso de Doutorado em Engenharia e Ciência de Alimentos na Universidade Estadual Paulista, Campus São José do Rio Preto orientado pelo Prof. Dr. Javier Telis Romero. Tem como perspectiva se qualificar em nível de doutorado na área de Engenharia e Ciência de Alimentos e seguir a carreira de pesquisador no IFMA.

Contato:

Fone: (99)98824-6085

E-mail: maron@ifma.edu.br

Dedico esse trabalho a minha esposa Fernanda e a minha filha Alícia Maron, maiores inspirações e incentivadoras. Dedico a mais pais Modesto e Marizeth, sem os quais não chegaria até aqui.

AGRADECIMENTOS

Ao Grande Arquiteto do Universo.

Ao professor Dr. Javier Telis Romero pela paciência, apoio e ensinamentos no desenvolvimento deste trabalho.

Ao professor Dr. José Francisco Lopes Filho, pela paciência e coordenação das atividades do DINTER.

A minha esposa Fernanda pelo amor, compreensão, incentivo e por suportar minha ausência no principal momento de nossas vidas.

À minha família e em especial minha mãe, Marizeth e meu pai Modesto, que me deram condições de chegar tão longe pelo estudo.

Aos professores integrantes da banca examinadora pelas correções e sugestões apresentadas ao trabalho.

Ao Prof. Dr. José Machado Moita Neto por todos os ensinamento e incentivo desde a Iniciação Científica.

Aos colegas de Doutorado Manoel, Pedro, Adeval, Luzimary, Flávia e Liane pela amizade e apoio no desenvolvimento da tese.

Aos meus alunos de Iniciação Científica Ana Caroline, Jessyane, Gecyene, Cesário Jorge, pela paciência e auxílio durante os experimentos.

Aos companheiros de IFMA Carlos Lira e Simone Kelly pela ajuda no acompanhamento dos alunos em minha ausência e na escrita dos artigos.

A todos os Docentes do DINTER pelos ensinamentos e paciência.

À CAPES/IFMA pelo financiamento do projeto e bolsas recebidas por meio do DINTER 557/2013, processo nº 23038.009144/2012-41.

À FAPEMA pela concessão de apoio financeiro essencial ao desenvolvimento de parte do trabalho no Maranhão.

Meu muito obrigado!

“Aprendi que a coragem não é a ausência do medo, mas o triunfo sobre ele. O homem corajoso não é aquele que não sente medo, mas o que conquista esse medo.”

Nelson Mandela

SUMÁRIO

SOBRE O AUTOR.....	iv
LISTA DE FIGURAS	xi
LISTA DE TABELAS	xii
RESUMO	xiv
ABSTRACT	xv
CAPITULO 1: INTRODUÇÃO E OBJETIVOS	1
1.1 INTRODUÇÃO GERAL	2
1.2 OBJETIVOS	7
1.2.1 Geral	7
1.2.2 Específicos	7
1.4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	9
CAPITULO 2: POTENCIAL TECNOLÓGICO DA FARINHA DA AMÊNDOA DO COCO BABAÇU (Orbignya sp).....	12
RESUMO	13
ABSTRACT	14
2.1 INTRODUÇÃO	15
2.2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	17
2.2.1 Obtenção da farinha da amêndoa de coco babaçu (FA)	17
2.2.2 Composição Centesimal.....	17
2.2.2.1 Umidade.....	17
2.2.2.2 Lipídios.....	17
2.2.2.3 Proteínas	18
2.2.2.4 Cinzas	18
2.2.3 Propriedades Funcionais Tecnológicas.....	18
2.2.3.1 Solubilidade	18
2.2.3.2 Capacidade de absorção de água (CAA)	19
2.2.3.3 Capacidade de absorção de óleo (CAO).....	19
2.2.3.4 Propriedades Emulsificantes.....	20
2.2.3.5 Propriedades Espumantes	20

2.2.3.6 Capacidade de formação gel	21
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
2.3.1 Composição Centesimal	22
2.4 CONCLUSÕES	30
2.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS	32
CHAPTER 3: SORPTION ISOTHERMS OF THE ALMOND FLOUR OF THE BABASSU COCONUT (Orbignya sp).....	41
RESUMO	42
3.1 INTRODUCTION	44
3.2. MATERIALS AND METHODS.....	45
3.2.1 Raw Material.....	45
3.2.2 Determination of the Sorption Isotherms.....	46
3.2.3 Modeling of the Sorption Isotherms	46
3.2.4 Isosteric Heat of Sorption	47
3.2.5. Parameters estimate and statistical analysis	48
3.3 RESULTS AND DISCUSSION.....	48
3.4 CONCLUSIONS.....	54
3.5 REFERENCES	55
CAPITULO 4: CINÉTICA DE SECAGEM DA FARINHA DA AMÊNDOA DO COCO BABAÇU (Orbignya sp)	60
RESUMO	61
ABSTRACT	62
4.1 INTRODUÇÃO	63
4.2 MÉTODOS.....	65
4.2.1 Matéria Prima	65
4.2.1 Cinética de secagem	65
4.2.1.1 Descrição do equipamento.....	65
4.2.1.2 Curvas de secagem.....	66
4.2.1.5 Avaliação Estatística	71
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	71
4.3.1 Taxa de secagem.....	73

4.3.2 Modelagem Matemática.....	75
4.4 CONCLUSÕES	84
4.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	85
CHAPTER 5: BISCUITS OF THE TYPE COOKIE WITH PARTIAL REPLACEMENT OF THE WHEAT FLOUR FOR THE ALMOND FLOUR OF THE BABASSU COCONUT (Orbignya sp)	92
RESUMO	93
ABSTRACT	94
5.1 INTRODUCTION	95
5.2 MATERIALS AND METHODS.....	96
5.2.1 Obtaining the almond flour of the babassu coconut (AF).....	96
5.2.2 Preparation of Cookies.....	97
5.2.3 Physical Properties	98
5.2.4 Physicochemical Analysis.....	98
5.2.5 Microbiological Analysis.....	98
5.2.6 Sensory Analysis	99
5.2.7 Statistical Analysis	99
5.3 RESULTS AND DISCUSSIONS.....	99
5.3.1 Physical characterization of the cookies	99
5.3.2 Physicochemical characterization of the cookies	102
5.3.3 Microbiological Evaluation.....	104
5.3.4 Sensory Analysis	104
5.4 CONCLUSIONS.....	106
5.5 REFERÊNCIAS.....	107
CAPITULO 6: CONCLUSÕES GERAIS E PERSPECTIVAS	111
APÊNDICE A: DADOS DA SECAGEM E PARÂMETROS OBTIDOS DOS MODELOS AJUSTADOS AOS DADOS DE SECAGEM DA FARINHA DA AMÊNDOA DO BABAÇU	114
APÊNDICE B: AJUSTES DOS DADOS DE SECAGEM AOS MODELOS CINÉTICOS ESTUDADOS	122

LISTA DE FIGURAS

Figure 3.1: Isotherms of the Almond Flour of the Babassu at different temperatures (Halsey).	51
Figure 3.2: Isotherms of the Almond Flour of the Babassu in different temperatures (GAB).	52
Figure 3.3: Effect of the moisture content on the isosteric heat of sorption of the Almond Flour of the Babassu.	53
Figura 4.1: Equipamento de Secagem (Prette, 2012)	66
Figura 4.2: Dados de secagem da farinha da amêndoa do coco babaçu a velocidade de 0,7, 1,0 e 1,3 m/s.	72
Figura 4.3: Gráfico da Componente Principal 1 versus Componente Principal 2.	73
Figura 4.4: Taxa de secagem decrescente da farinha da amêndoa do babaçu na velocidade de $0,7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$	74
Figura 4.5: Taxa de secagem decrescente da farinha da amêndoa do babaçu na velocidade de $1,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$	74
Figura 4.6: Taxa de secagem decrescente da farinha da amêndoa do babaçu na velocidade de $1,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$	75
Figura 4.7: Modelagem das curvas de secagem da Farinha da Amêndoa do Babaçu empregando o modelo de Midilli et al. (2002) na velocidade de $0,7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$	77
Figura 4.8: Modelagem das curvas de secagem da Farinha da Amêndoa do Babaçu empregando o modelo de Midilli et al. (2002) na velocidade de $1,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$	77
Figura 4.9: Modelagem das curvas de secagem da Farinha da Amêndoa do Babaçu empregando o modelo de Midilli et al. (2002) na velocidade de $1,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$	78
Figura 4.10: Coeficientes equação de Arrhenius ajustada para o coeficiente de difusão aparente da Farinha da Amêndoa do Babaçu.	82

Figure 5.1: Standard Cookies (Without AF) and with partial replacement of wheat flour for the almond flour of the babassu coconut (AF) on the proportion of 10, 20 and 30 %..... 100

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Composição Centesimal da farinha da amêndoa do coco babaçu.....	22
Tabela 2.2: Propriedades Funcionais da Farinha da Amêndoa do Babaçu.....	25
Tabela 2.3: Capacidade de Formação de Gel da Farinha da Amêndoa (FA).....	30
Table 3.1: Mathematical models applied to experimental data of sorption of the Almond Flour of the Babassu.....	46
Table 3.2: Experimental equilibrium moisture (kg H ₂ O/kg dry matter) for Almond Flour of the Babassu at temperatures of 20 °C, 30 °C, 40 °C and 50 °C.....	49
Table 3.3: Modeling and statistical analysis of the sorption isotherms of the Almond Flour of the Babassu.....	50
Table 3.4: Estimated Parameters by the equation of Tsami (Eq. 7 e 8).....	53
Tabela 4.1: Modelos matemáticos de regressão não-linear, avaliados para prever a secagem da Farinha da Amêndoa do Babaçu.	70
Tabela 4.2: Dados experimentais empregados na modelagem matemática das curvas de secagem da farinha da amêndoa do babaçu.....	76
Tabela 4.3: Valores do coeficiente de correlação (R^2) e do erro médio relativo (MRE), calculados para o ajuste dos modelos matemáticos aos valores experimentais da secagem da Farinha da Amêndoa do Babaçu.....	79
Tabela 4.4: Parâmetros obtidos para o modelo de Midilli et al. (2002) ajustados aos dados de secagem da Farinha da Amêndoa do Babaçu.	81
Tabela 4.5: Valores da difusividade aparente (D_{ap}) obtidos para a Farinha da Amêndoa do Babaçu em diferentes temperaturas e velocidades do ar de secagem.	81

Tabela 4.9: Propriedades termodinâmicas do processo de secagem da farinha da amêndoa do coco babaçu: entalpia específica (ΔH), entropia específica (ΔS) e energia livre de Gibbs (ΔG).	83
Tabela 5.1: Elaboration of the standard cookies and with partial replacement of the wheat flour for the almond flour of the babassu coconut (AF)	97
Table 5.2: Physical properties of the standard cookies and with partial replacement of the wheat flour for the almond flour of the babassu coconut (AF). The same letters in the same line indicate there is not considerable difference with each other by Tukey test with 5% of probability. Average $\pm$ Standard deviation of the samples.	101
Table 5.3: Chemical composition of the standard cookies and with partial replacement of the wheat flour for the almond flour of the babassu coconut (AF). The same letters on the same line indicate there is not considerable difference each other by Tukey test with 5% of probability. Average $\pm$ Standard deviation of the samples.	102
Table 5.4: Microbiological evaluation of the standard cookies and with partial replacement of the wheat flour for the almond flour of the babassu coconut (AF). *Salmonella spp – absence in 25 g of sample.	104
Table 5.5: Sensory analysis of the standard cookies and with partial replacement of the wheat flour for the almond flour of the babassu coconut (AF). The same letters in the same line indicate there is not considerable difference each other by Tukey test with 5% of probability. Average $\pm$ Standard deviation of the samples.	105

RESUMO

Tanto nos sentidos sociais quanto nos econômicos, o coco babaçu desempenha um importante papel para mais de 300 mil famílias extrativistas que tem na quebra manual do coco, para a obtenção de seus frutos, sua principal forma de subsistência. Objetivou-se estudar a Farinha da Amêndoa do Babaçu (FA) através do estudo de suas propriedades funcionais tecnológicas, bem como a aplicação do processo de secagem e a elaboração de um produto alimentício, visando seu possível aproveitamento na indústria e a geração de tecnologia social. As propriedades funcionais tecnológicas evidenciam que a FA apresenta grande valor energético e revela sua favorável potencialidade para a elaboração de novos produtos e inserção da farinha à alimentação humana, principalmente em alimentos que requeiram bons valores de solubilidade, Capacidade de Absorção de Água e Gelificação. Na pesquisa foram determinadas isotermas de sorção para a FA a 20, 30, 40 e 50 °C. Os dados experimentais de umidade de equilíbrio foram correlacionados por modelos da literatura. Os modelos de GAB e Halsey apresentaram melhor concordância com os dados experimentais, entre os modelos avaliados. Foi proposta a primeira derivada da solução analítica da equação de Clausius-Clapeyron para calcular o calor isostérico de sorção. A secagem da FA foi realizada em um secador de leito fixo, nas velocidades do ar de 0,7; 1,0 e 1,3 m·s⁻¹ e temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C. O modelo de Midilli foi o que melhor descreveu as curvas de secagem. Com as informações obtidas no estudo, foram formulados biscoitos do tipo cookie com diferentes formulações de FA, os quais foram caracterizados físico-química, nutricional, sensorial e microbiológica.

Palavras-Chave: *babaçu; farinha da amêndoa; propriedades funcionais tecnológicas; isotermas de sorção; secagem; produtos alimentícios.*

ABSTRACT

In both the social and economic senses, the babassu coconut plays an important role for more than 300,000 extractivist families who have in the manual breaking of the coconut to obtain its fruits, its main form of subsistence. The objective of this study was to study the Almond Flour of Babaçu (AF) through the study of its technological functional properties, as well as the application of the drying process and the elaboration of a food product, aiming at its possible use in industry and the generation of social technology . The technological functional properties show that AF has a high energy value and reveals its favorable potential for the elaboration of new products and the insertion of flour into human food, mainly in foods that require good solubility values, Water Absorption Capacity and Gelification. In the research, sorption isotherms were determined for AF at 20, 30, 40 and 50 ° C. The experimental data of equilibrium moisture were correlated by models of the literature. The GAB and Halsey models presented better agreement with the experimental data among the models evaluated. The first derivative of the analytical solution of the Clausius-Clapeyron equation was proposed to calculate the isosteric heat of sorption. The AF drying was performed in a fixed bed drier, at air velocities of 0.7; 1.0 and 1.3 m·s⁻¹ and temperatures of 40, 50, 60 and 70 °C. The Midilli model was the one that best described the drying curves. With the information obtained in the study, cookie type biscuits with different formulations of AF were formulated, which were characterized physico-chemical, nutritional, sensorial and microbiological.

Keywords: *babassu; Almond flour; Functional functional properties; Sorption isotherms; drying; food products.*

CAPITULO 1: INTRODUÇÃO E OBJETIVOS



Pintura em tela representando o coco babaçu

Autor: Artista Plástico Eurival Miranda

1.1 INTRODUÇÃO GERAL

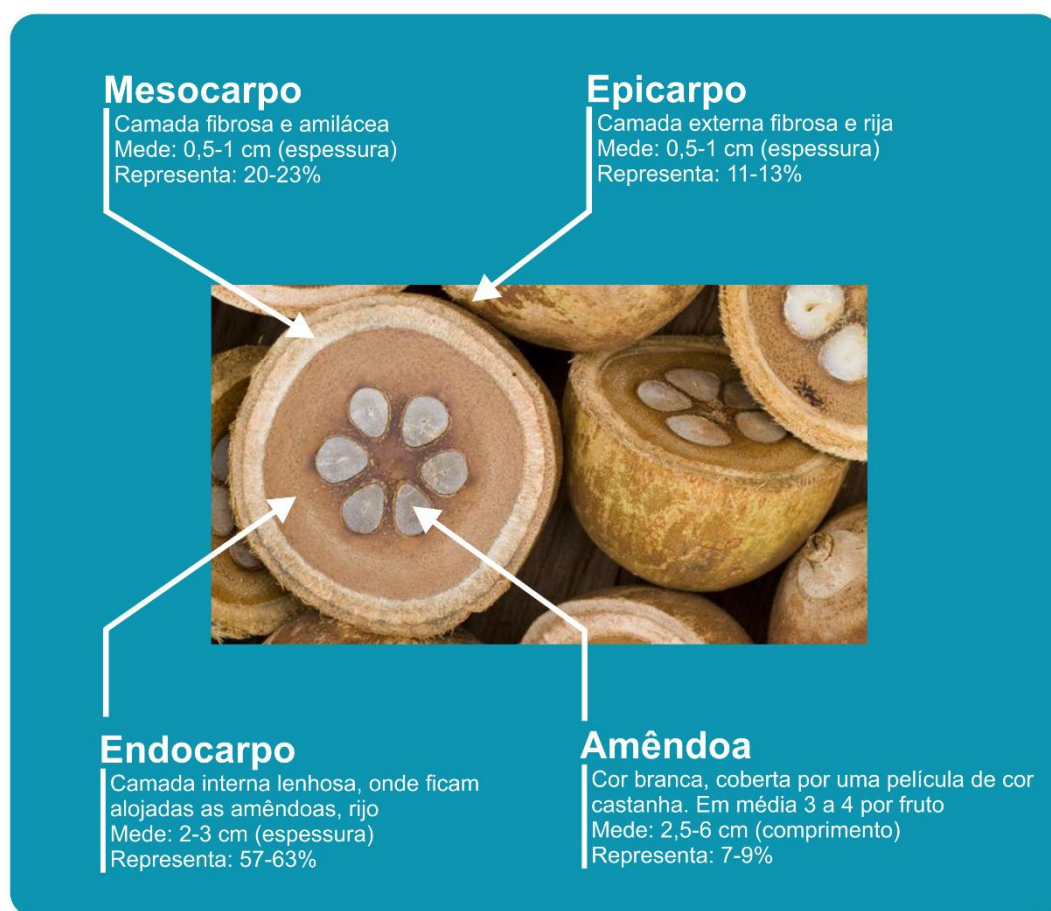
O babaçu é muito conhecido entre populações tradicionais brasileiras, e dependendo da região, pode ser chamado também de *coco-palmeira*, *coco-de-macaco*, *coco-pindoba*, *baguaçu*, *uauaçu*, *catolé*, *andaiá*, *andajá*, *indaiá*, *pindoba*, *pindobassu* ou ainda vários outros nomes. Todas as variedades de babaçu são importantes, por seus aspectos ecológicos, sociais, econômicos e ambientais (MAY, ANDERSON, BALICK, *et al.*, 1985; ANDERSON E BALICK, 1988; CARRAZZA *et al.*, 2012).

O babaçu (*Orbignya sp*), mostrado na Figura 1.1, é a palmeira oleaginosa mais importante do extrativismo vegetal brasileiro, e muito adaptada às condições ecológicas da Amazônia oriental e nativa da zona de transição entre o cerrado e as florestas abertas do sul da Amazônia. São os Estados do Maranhão, Piauí, Tocantins e Pará que concentram as maiores extensões de matas onde predominam os babaçus, conforme mapa mostrado na Figura 1.2 (VAINSENER, 2008).

O babaçu destaca-se entre as palmeiras encontradas em território brasileiro pela peculiaridade, graça e beleza da estrutura que lhe é característica, podendo atingir 20 metros de altura, com estipe liso medindo até 41 cm de diâmetro, suas folhas em posição retilínea, pouco se voltando em direção ao solo e os frutos oblongo-elipsoides lisos, com 11,3 x 6,3 cm de diâmetro, de coloração marrom na maturidade (MIRANDA, 2001; ALBIERO *et al.*, 2007).

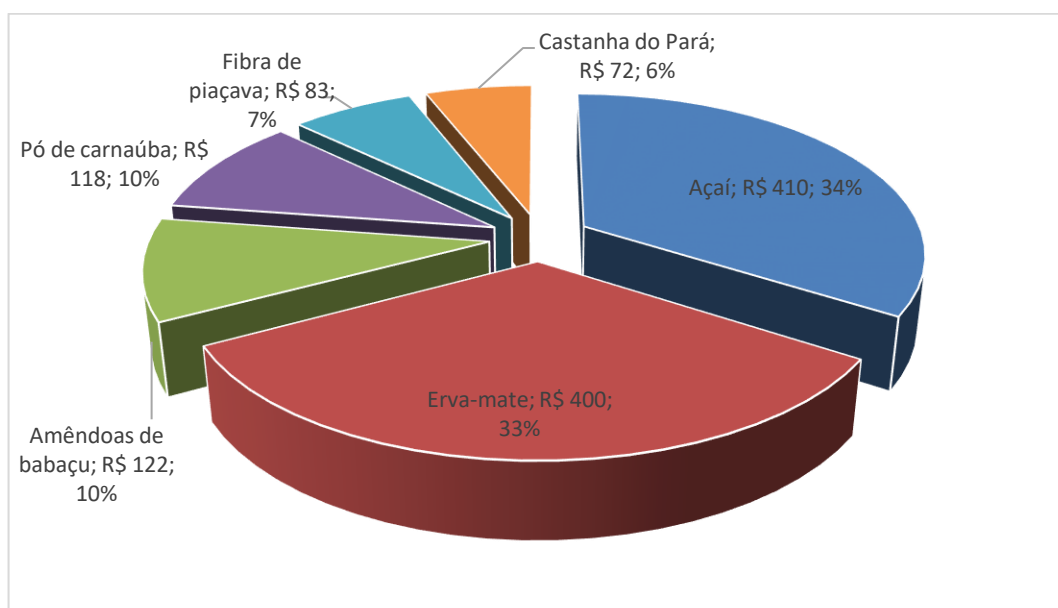
O coco (fruto) ou coquilho do babaçu pesa em média 200 g, apresenta em média 6 cm de diâmetro e 9,5 cm de comprimento e é composto por quatro partes principais: Epicarpo, Mesocarpo, Endocarpo e Amêndoas, conforme mostrado na Figura 1.3.

Figura 1.3: Composição do Coco Babaçu (MAY, ANDERSON, BALICK, *et al.*, 1985; BARROS, 2011; VINHAL *et al.*, 2014).



A produção de amêndoa do babaçu se concentra no nordeste, de onde vem 99,7% da produção nacional, destacando-se o estado do Maranhão com 94,4% da produção nacional com 84.688 toneladas e R\$ 114,3 milhões em valor de produção. A extração de amêndoas do Babaçu representa 10% da produção extrativista nacional conforme mostrado na Figura 1.4 (IBGE, 2013).

Figura 1.4: Produção extrativista nacional (em milhões de reais).



O fruto do babaçu tem potencial em indústrias de cosméticos, obtenção de óleo comestível, margarinas, saboarias, velas, carvão, etanol, furfural, ácido acético, metanol, alcatrão, celulose e papel. Da amêndoa pode-se obter: rações, ácidos graxos e glicerinas. Em escala comercial, somente o carvão e o óleo têm sido produzidos (DE MENEZES PAVLAK *et al.*, 2007; SOLER *et al.*, 2007).

A partir do mesocarpo é retirada uma farinha obtida por um processo de secagem, trituração, peneiração e torração. Devido à presença de taninos, aos quais atribui-se a cor acastanhada do pó de mesocarpo, cujo conteúdo de amido e fibras são 50% e 10% (p / p), respectivamente e tem sido usado como alimento e como medicamento por apresentar atividade antiinflamatória, imunomoduladora, analgésica e antipirética (BATISTA *et al.*, 2006; ALMEIDA *et al.*, 2011).

Inúmeros estudos sobre os efeitos da adição da farinha do mesocarpo na dieta de ovinos, bovinos e aves já foram realizados, bem como na composição de produtos para o consumo humano, o que mostra o potencial nutricional e tecnológico deste subproduto do coco babaçu (MIOTTO *et al.*, 2012; RANGEL, 2012; CARNEIRO *et al.*, 2013)

As amêndoas do coco ainda verdes, depois de raladas e espremidas, são juntadas a um pouco de água e passadas por um pano fino, dando como resultado

um leite vegetal de grande capacidade nutritiva. Esse leite é muito usado na culinária local como tempero para carnes de caça e peixes, substituindo o leite de coco-da-baía, e como mistura para empapar o cuscuz de milho, de arroz e de farinha de mandioca ou, até mesmo, bebido ao natural, substituindo o leite de vaca. A massa que sobra da coagem (farinha da amêndoa) é muito nutritiva e vem sendo utilizada para a alimentação animal ou descartada (CARRAZZA *et al.*, 2012; BIODIESELBR, 2014).

Apesar da existência de inúmeros estudos sobre a farinha do mesocarpo do babaçu, pouco se conhece sobre as características da farinha oriunda da amêndoa. Em estudo recente Arévalo-Pinedo *et al.* (2013) mostraram as características gerais desta farinha e a utilizaram como matéria prima na produção de barra de cereal, no entanto ainda não se conhece suas características físico-químicas, funcionais, termodinâmicas e comportamento durante secagem.

Todo o babaçu é produzido pela população extremamente pobre da região amazônica, estimando-se que cerca de 300 mil famílias têm no extrativismo do babaçu a sua principal fonte de renda. O principal produto extraído do babaçu é a amêndoa, que é retirada do fruto lenhoso em um trabalho penoso e manual, que consiste em prender um machado embaixo da perna, apoiar o coco na lâmina do machado com uma das mãos e golpeá-lo com um porrete. Uma quebradeira de coco extrai em média 5 kg de amêndoas por dia. O quilo da amêndoa custa em média R\$2,00. Os caroços são vendidos às fabricas para a extração do óleo ou são transformadas em óleo de forma caseira para o consumo da família (LEITE E JÚNIOR, 2003; CARRAZZA *et al.*, 2012; CLEMENT *et al.*, 2005).

O babaçu é uma fonte rica de recursos e apresenta um elevado potencial para agregação de valor aos seus subprodutos. No entanto, a falta de incentivo governamental e a devastação dos coqueiros para abrir espaço para a pecuária ainda é uma realidade vivenciada no Maranhão. A realização de estudos específicos para os subprodutos, principalmente os de aplicação alimentícia, podem abrir espaço para valorização e industrialização de derivados do babaçu, gerando renda e desenvolvimento de tecnologia social.

Considerando as diversas potencialidades do babaçu, este trabalho foi desenvolvido com a finalidade de realizar um estudo de caracterização físico-química e funcional, investigar a secagem em diferentes condições de temperatura e velocidade do ar, determinar as propriedades termodinâmicas (entalpia, entropia, energia livre de Gibbs e calor isostérico de sorção), bem como elaborar um biscoito utilizando a farinha da amêndoa para verificar sua aceitação sensorial.

Os dados desta pesquisa servirão como base para estudos de desenvolvimento de outros produtos, ou melhoria dos já existentes que busquem as potencialidades da farinha da amêndoa do babaçu, contribuindo para o crescimento econômico de diversas comunidades nordestinas que têm, como principal fonte de sustento, a extração do coco babaçu.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Geral

Realizar um estudo que subsidie a utilização da farinha da amêndoa do babaçu na alimentação humana, contribuindo para o crescimento econômico de diversas comunidades nordestinas que tem como principal fonte de sustento a extração do coco babaçu.

1.2.2 Específicos

- Determinar as propriedades físico-químicas e funcionais da Farinha da Amêndoa (FA);
- Elaborar e avaliar sensorialmente biscoitos do tipo cookie modificados com diferentes composições da FA do coco babaçu;
- Determinar as isotermas de sorção da FA nas temperaturas de 20, 30, 40 e 50 °C;
- Modelar as isotermas de sorção da FA empregando o modelo teórico de GAB e os modelos empíricos de Henderson, Oswin, Halsey e Iglesias-Chirife e calcular o calor isostérico de sorção;

- Determinar a cinética de secagem da FA utilizando um secador de leito fixo convectivo nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C;
- Determinar a entalpia, entropia, energia livre de Gibbs e energia de ativação envolvidos no processo de secagem.

1.4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBIERO, D. et al. Proposta de uma máquina para colheita mecanizada de babaçu (*Orbignya phalerata* Mart.) para a agricultura familiar. **Acta Amazônica**, v. 37, n. 03, p. 337-346, 2007.

ALMEIDA, R. R. et al. Thermal analysis as a screening technique for the characterization of babassu flour and its solid fractions after acid and enzymatic hydrolysis. **Thermochimica Acta**, v. 519, p. 50-54, 2011.

ANDERSON, A. B.; BALICK, M. J. Taxonomy of the Babassu Complex (*Orbignya* spp Palmae). **Systematic Botany**, v. 13, n. 1, p. 32-50, Jan-Mar 1988. ISSN 0363-6445. Disponível em: < <Go to ISI>://WOS:A1988M120400005 >.

ARÉVALO-PINEDO, A. et al. Desenvolvimento de barra de cereais à base de farinha de amêndoa de babaçu (*Orbygnia speciosa*). **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 15, n. 4, p. 405-411, 2013.

BARROS, I. C. **Avaliação Biofarmacotécnica de potencial excipiente farmacêutico: pó de mesocarpo de babaçu *Orbignya phalerata* Mart.)**. 2011. (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Ciências Farmacêuticas (PPGCF), Universidade Federal do Piauí (UFPI)

BATISTA, C. P. et al. Efeito do extrato aquoso de *Orbignya phalerata* (babaçu) na cicatrização do estômago em ratos: estudo morfológico e tensiométrico. **Acta Cirúrgica Brasileira**, v. 21, n. Suplemento 3, p. 2, 2006.

BIODIESELBR. Babaçu. Curitiba-PR, 2014. Disponível em: < <http://www.biodieselbr.com/plantas/babacu/babacu.htm> >. Acesso em: 27. Mar. 2014.

CARNEIRO, M. et al. EVALUATION OF BABASSU MESOCARP MEAL IN FEED FOR BROILER CHICKENS/Avaliação do mesocarpo de Babaçu (*Orbignya* spp) na alimentação de frangos de corte. **Ars Veterinaria**, v. 29, n. 3, p. 175-182, 2013.

CARRAZZA, L. R.; SILVA, M. L. D.; ÁVILA, J. C. C. **Manual Tecnológico de Aproveitamento Integral do Fruto do Babaçu.** Brasília-DF: Instituto Sociedade, População e Natureza (ISPN), 2012.

CLEMENT, C. R.; LLERAS PERES, E.; VAN LEEUWEN, J. O potencial das palmeiras tropicais no Brasil: Acertos e fracassos das ultimas décadas. **Agrociencias**, v. 1-2, n. 9, p. 67-71, 2005.

DE MENEZES PAVLAK, M. C. et al. Aproveitamento da farinha do mesocarpo do babaçu (*Orbignya martiana*) para obtenção de etanol. **Evidência-Ciência e Biotecnologia-Interdisciplinar**, v. 7, n. 1, p. 7-24, 2007.

IBGE. **Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura.** Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2013.

LEITE, F. H. F.; JÚNIOR, F. P. **Produção não-madeireira e desenvolvimento Sustentável na Amazônia.** Instituto de Química. Universidade de Brasília (UNB). 2003

MAY, P. H. et al. Subsistence benefits from the babassu palm (*Orbignya Martiana*). **Economic Botany**, v. 39, n. 2, p. 113-129, 1985 1985. ISSN 0013-0001. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:A1985AGZ1100002 >.

MAY, P. H. et al. Babassu palm in the agroforestry systems in Brazil's Mid-North region. **Agroforestry systems**, v. 3, n. 3, p. 275-295, 1985. ISSN 0167-4366.

MIOTTO, F. R. C. et al. Consumo e digestibilidade de dietas contendo níveis de farelo do mesocarpo de babaçu para ovinos. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 4, 2012.

MIRANDA, I. P. D. A. **Frutos de palmeiras da Amazônia.** Presidência da República, Ministério da Ciência e Tecnologia, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, 2001. ISBN 8521100140.

RANGEL, J. H. Estudo termogravimétrico e das propriedades nutricionais do Mesocarpo de Babaçu [Orbignya Speciosa] em adição ao pão. **Acta Tecnológica**, v. 6, n. 2, p. 12-17, 2012.

SOLER, M. P.; VITALI, A. D. A.; MUTO, E. F. Tecnologia de quebra do coco babaçu (Orbignya speciosa). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 4, p. 717-722, 2007.

VAINSENCER, S. A. Babaçu. 2008. Disponível em: <
http://basilio.fundaj.gov.br/pesquisaescolar/index.php?option=com_content&view=article&id=502:babacu&catid=37:letra-b&Itemid=1>. Acesso em: 18 de agosto de 2015.

VINHAL, J. O.; LIMA, C. F.; BARBOSA, L. C. A. Analytical pyrolysis of the kernel and oil of babassu palm (Orbignya phalerata). **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 107, p. 73-81, 2014. ISSN 0165-2370. Disponível em: <
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0165237014000291>>.

CAPITULO 2: POTENCIAL TECNOLÓGICO DA FARINHA DA AMÊNDOA DO COCO BABAÇU (*Orbignya sp*)



Alguns Subprodutos da Amêndoa do Coco Babaçu

Foto: Jessyane Nascimento

RESUMO

Tanto nos sentidos sociais quanto nos econômicos, o coco babaçu desempenha um importante papel para mais de 300 mil famílias extrativistas que tem na quebra manual do coco, para a obtenção de seus frutos, sua principal forma de subsistência. Considerando a potencialidade do babaçu, o estudo teve como objetivo avaliar o potencial tecnológico da Farinha da Amêndoa do Coco Babaçu (FA) a fim de balizar o desenvolvimento de novos produtos destinados à alimentação humana. A FA apresentou composição centesimal em 3,15% de umidade, 1,09% de cinzas, 61,17% de lipídios, 10,45% de proteína, 24,14% de carboidratos e valor energético 688,89 Kcal/100 g. Os altos valores de solubilidade (41,61%), capacidade de absorção de água (196,67%) e as boas propriedades gelificantes da FA são desejáveis, entretanto apresentou baixo valor de Capacidade de Absorção de Óleo (79,37%), estabilidade de emulsão (47,23%) e capacidade emulsificante (46,20%). A FA não apresentou capacidade espumante nem estabilidade da espuma. Tais resultados evidenciam que a FA apresenta grande valor energético e revela sua favorável potencialidade para a elaboração de novos produtos e inserção da farinha à alimentação humana, principalmente em alimentos que requeiram bons valores de solubilidade, capacidade de absorção de água e gelificação.

Palavras-Chave: Babaçu; Amêndoa; Farinha

ABSTRACT

In both the social and economic senses, the babassu coconut plays an important role for more than 300,000 extractive families who have in the manual breaking of the coconut to obtain its fruits, its main form of subsistence. Considering the potential of babassu, the study aimed to evaluate the technological potential of Almond Flour of Coco Babaçu (FA) in order to guide the development of new products destined for human consumption. The FA presented centesimal composition in humidity (3.15%), ashes (1.09%), lipids (61.17%), protein (10.45%), carbohydrates (24.14%) and energetic value 688, 89 Kcal/100 g. The high values of solubility (41.61%), Water Absorption Capacity (196.67%) and good gelling properties of FA are desirable, however, it presented low Absorption Capacity of Oil (79.37%), Emulsion stability (47.23%) and emulsifying capacity (46.20%). The FA had no foaming ability or foam stability. These results show that AF has a high energy value and reveals its favorable potential for the elaboration of new products and the insertion of flour into human food, mainly in foods that require good solubility values, Water Absorption Capacity and Gelification.

Keywords: Babassu; Almond; Flour

2.1 INTRODUÇÃO

O babaçu é um tipo de palmeira da família botânica Arecaceae, e seu uso é bastante difundido em vários estados onde ocorre espontaneamente. Ele é muito conhecido entre populações tradicionais brasileiras, e dependendo da região, pode ser chamado também de coco-palmeira, coco-de-macaco, coco-pindoba, baguaçu, uauaçu, catolé, andaiá, andajá, indaiá, pindoba, pindobassu ou ainda vários outros nomes. Todas as variedades de babaçu são importantes, por seus aspectos ecológicos, sociais, econômicos, ambientais, etc. (ANDERSON E BALICK, 1988; CARRAZZA *et al.*, 2012).

O coco ou coquilho do babaçu é composto por quatro partes principais: Epicarpo (camada externa fibrosa e rija), Mesocarpo (camada intermediária que fica entre o epicarpo e o endocarpo, fibrosa e amilácea, com 0,5 a 1,0 cm), Endocarpo (camada interna lenhosa, onde ficam alojadas as amêndoas, rijo, de 2 a 3 cm) e Amêndoas (de cor branca, coberta por uma película de cor castanha, de 3 a 4 por fruto, com 2,5 a 6 cm de comprimento e 1 a 2 cm de largura) (MAY *et al.*, 1985; PINHEIRO E FRAZAO, 1995; BARROS, 2011).

Das amêndoas também extraem o óleo para cozinhar, o sabão e um substituto do querosene usado em lamparinas, a amêndoa que não é comercializada é utilizada para a produção de óleo e de leite para o consumo doméstico (ALBIERO *et al.*, 2007). O leite da amêndoa do babaçu é um produto artesanal e sem conservantes, feito para consumo imediato após seu preparo. A massa que sobra da coagem é muito nutritiva para a alimentação animal (MAY *et al.*, 1985).

A qualidade das farinhas é determinada por variedade de características, que podem ser classificadas em físicas, químicas, enzimáticas e funcionais (RASPER, 1991). Dentre as características físicas e químicas, o estabelecimento da composição centesimal está diretamente relacionado à classificação desses produtos, em relação aos padrões de qualidade e identidade (BOEN *et al.*, 2007; SOEIRO *et al.*, 2010).

O termo "propriedade funcional tecnológica", quando aplicado a um ingrediente alimentar, pode ser definido como todas as propriedades não-

nutritivas que influenciam a produção e qualidade de um alimento particular (GRIZOTTO *et al.*, 2010). A maior parte das propriedades funcionais influencia as características sensoriais, mas igualmente pode desempenhar importante papel nas propriedades físicas dos alimentos e de seus ingredientes durante o processamento, armazenamento, preparo e consumo (ORDÓÑEZ *et al.*, 2005; OETTERER *et al.*, 2006).

As proteínas dos alimentos, além de proporcionar nutrição, também possuem propriedades funcionais específicas que facilitam o processamento e servem como base para determinar o desempenho do produto (KINSELLA E MELACHOURIS, 1976). As propriedades funcionais das proteínas de origem vegetal tem sido o foco de inúmeras pesquisas, Shevkani *et al.* (2015) estudou as propriedades funcionais das proteínas do feijão, Sahan *et al.* (2015) a farinha da casca de oleastro, Nyam *et al.* (2014) as sementes de vinagreira para aplicação em produtos de panificação, Yuliana *et al.* (2014) a proteína da castanha do caju desengordurada e Porte, A. *et al.* (2011) as farinhas das sementes de mamão e de abobora. Essas propriedades desempenham um papel importante no comportamento físico do produto alimentício ou nos ingredientes durante o processamento e armazenamento. Algumas indústrias estão focadas em encontrar novas matérias-primas para melhorar a aparência e qualidade de seus produtos, e por essa razão as propriedades funcionais são importantes para reduzir custos (CHAPARRO ACUÑA *et al.*, 2012).

Todo o babaçu é produzido pela população extremamente pobre da região amazônica por absoluta falta de outras oportunidades, a qual os caroços do fruto lenhoso, em um trabalho penoso. Os caroços são vendidos às fábricas para a extração do óleo ou são transformadas em óleo de forma caseira para o consumo da família (CLEMENT *et al.*, 2005). Tanto nos sentidos sociais quanto nos econômicos, o coco babaçu desempenha um importante papel para mais de 300 mil famílias extrativistas que tem na quebra manual do coco, para a obtenção de seus frutos, sua principal forma de subsistência. Neste trabalho busca-se avaliar o desenvolvimento de novos produtos a partir do babaçu, o que pode significar uma melhoria na renda dessas famílias.

2.2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.2.1 Obtenção da farinha da amêndoa de coco babaçu (FA)

As amêndoas de coco babaçu, obtidas na feira do município (Bacabal, MA), foram pesadas e lavadas por imersão em água corrente. Após lavadas as amêndoas foram desintegradas em liquidificador industrial, na proporção de 2 partes de água para 1 parte de amêndoa (v/p), até a obtenção de consistência homogênea, durante aproximadamente 15 minutos. Prensou-se o homogeneizado mecanicamente e passou-se por um pano, obtendo-se como produtos o leite de babaçu e uma massa úmida retida na peneira.

A farinha da amêndoa do babaçu (FA) foi obtida após secagem em estufa durante 12 h a 60 °C (ARÉVALO-PINEDO *et al.*, 2013) e posteriormente foi moída e homogeneizada em moinho analítico (Ika, Mod. A11).

2.2.2 Composição Centesimal

2.2.2.1 Umidade

O método utilizado foi o de secagem à 105 °C, baseado na remoção da água por aquecimento. As amostras foram colocadas em balança determinadora de umidade (Shimadzu Mod. MOC63U), com massas previamente determinadas, ficando na balança até peso constante por aproximadamente 6 horas. Ao fim leu-se a medida apresentada pela balança. A determinação foi realizada em triplicata.

2.2.2.2 Lipídios

Realizou-se a determinação de lipídios pela extração direta em Soxhlet utilizando como solvente o éter etílico. Em papel filtro pesou-se e empacotou-se 5 g da amostra de FA, transferiu-se para o aparelho extrator, e a este acoplou-se em balão de fundo chato contendo 250 mL de éter etílico, adaptado a um condensador de bolas, submeteu-se a extração ao aquecimento a 30 °C por 8 h seguidas. Após a etapa de extração retirou-se o cartucho extrator, e em seguida destilou-se o éter, secou-se o resíduo restante em estufa a 105 °C por 1 h. Resfriou-se em dessecador e pesou-se o extrato etéreo, repetiu-se as etapas de aquecimento e resfriamento até peso constante (AOAC, 1995a). A determinação foi realizada em triplicata.

2.2.2.3 Proteínas

Pesou-se 0,3 g da FA em tubo de Kjeldahl, adicionou-se 2,3 mL de ácido sulfúrico e 2,3 g de mistura catalítica (sulfato de cobre anidro e sulfato de potássio anidro 1:10) aqueceu-se em bloco digestor a 400 °C por 3 h até o material ser digerido. Após aquecimento resfriou-se colocou-se a amostra no destilador de nitrogênio, e adicionou-se 10 mL de solução de NaOH 50% e no Erlenmeyer adicionou-se ácido bórico e 3 gotas de indicador misto. Após a destilação, titulou-se a solução com ácido clorídrico 0,1 mol/L até que a mesma se tornou rósea novamente (AOAC, 1995b). Utilizou-se o fator de conversão 6,25. A determinação foi realizada em triplicata.

2.2.2.4 Cinzas

Pesou-se 10 g da FA em três cadinhos de porcelana, e incinerou-se por 3 h em Forno Mufla a temperatura de 550 °C, após esse período resfriou-se as amostras em dessecador e em seguida pesou-se. Adicionou-se 0,5 mL de água destilada às amostras e submeteu-se novamente à incineração por 1h, ao fim deste período resfriou-se e pesou-se novamente as amostras. Tais etapas de incineração, resfriamento e pesagem foram repetidas até peso constante (AOAC, 1996). A diferença entre a massa da amostra mais cadinho e a massa do cadinho forneceu a massa das cinzas da amostra. A determinação foi realizada em triplicata.

2.2.2.5 Carboidratos

Determinou-se a porcentagem de carboidratos pela diferença de 100 subtraído pela somatória das porcentagens das análises de umidade, cinzas, proteínas e lipídios.

2.2.3 Propriedades Funcionais Tecnológicas

2.2.3.1 Solubilidade

O índice de solubilidade em água (ISA) foi determinado segundo a metodologia descrita por Anderson *et al.* (1969) com algumas modificações. Em tubo de ensaio, com tampa, foram pesados 1,25 g de FA e adicionados 15 mL de

água destilada. Após agitar por 30 minutos, a solução foi transferida para um tubo de centrífuga e foi centrifugado durante 30 minutos. O líquido sobrenadante foi recolhido cuidadosamente em placa de Petri e evaporado em banho-maria a 100 °C, e, logo após, em estufa a 105 °C por três horas. O produto remanescente no tubo de centrífuga foi pesado. Determinou-se o ISA, pela relação entre o peso do resíduo da evaporação (PRE) e o peso seco da amostra (PA), conforme a Equação 2.1. A determinação foi realizada em triplicata.

$$\% ISA = \frac{PRE}{PA} 100 \quad \text{Eq. 2.1}$$

2.2.3.2 Capacidade de absorção de água (CAA)

Determinou-se a capacidade de absorção de água conforme o método descrito por Sosulski (1962), com algumas modificações. Pesou-se 1 g de FA em 12 mL de água destilada em tubo de centrífuga (Falcon). Agitou-se por 30 minutos e centrifugou-se durante 20 min. Cada tubo foi aquecido a 50 °C, por 25 minutos. O sobrenadante de cada tubo foi transferido para proveta e medido o volume. A capacidade de absorção de água (CAA) foi calculada pela Equação 2.2, onde vL é o volume (mL) medido na proveta. A determinação foi realizada em triplicata.

$$\% CAA = (12 - vL)100 \quad \text{Eq. 2.2}$$

2.2.3.3 Capacidade de absorção de óleo (CAO)

Determinou-se a capacidade de absorção de óleo (CAO) de acordo com Lin *et al.* (1974), com algumas modificações. Foram colocados 0,5 g de FA em 3 mL de óleo de milho em tubo de centrífuga graduado (Falcon) de 15 mL; a FA, foi agitada manualmente com óleo, durante 1 min e em seguida deixada em repouso durante 30 min; centrifugou-se durante 60 min e fez-se a leitura do volume do óleo livre. O percentual de gordura absorvida foi expresso como a quantidade de óleo retido por 100 g de FA.

2.2.3.4 Propriedades Emulsificantes

As propriedades emulsificantes são a capacidade emulsificante e a estabilidade de emulsão. Foram determinadas segundo o método de Dench *et al.* (1981) com algumas modificações.

Foram pesados 0,5 g de FA, que posteriormente foram suspensas em 40 mL de água destilada que teve o pH ajustado para 7,0 com NaOH ou HCl (0,1 mol.L⁻¹). A suspensão foi agitada por 15 min e o pH foi verificado e ajustado novamente, quando necessário, e o volume final foi completado para 50 mL com água destilada. A esta suspensão foram adicionados 5 mL de óleo de soja, mantendo-a sob agitação durante 3 min. A nova emulsão obtida foi centrifugada por 10 minutos. Após a leitura do volume dos tubos graduados da centrífuga a atividade emulsificante foi calculada através da Equação 2.3.

$$\% CE = \frac{\text{Altura da camada emulsificante}}{\text{Altura total do fluido}} 100 \quad \text{Eq. 2.3}$$

A estabilidade da emulsão foi determinada pelo mesmo procedimento, porém as emulsões formadas foram aquecidas a 80 °C, por 30 minutos em banho-maria, e depois resfriadas em água corrente, durante 15 minutos antes de serem centrifugadas. Após leitura do volume dos tubos graduados da centrífuga, a estabilidade da emulsão foi calculada usando-se a Equação 2.4.

$$\% EE = \frac{\text{Altura da camada emulsificante após aquecimento}}{\text{Altura total do fluido}} 100 \quad \text{Eq. 2.4}$$

2.2.3.5 Propriedades Espumantes

Determinou-se a capacidade e estabilidade de formação de espuma da FA, utilizando-se o método descrito por Hsu *et al.* (1982), com algumas modificações.

Um grama (1 g) de FA foi disperso em 10 mL de água destilada, e esta suspensão foi misturada durante 2 minutos usando um agitador magnético. O volume da solução inicial e o volume final depois da mistura foram registrados. A

Capacidade de Formação de Espuma (CFE) foi calculada de acordo com a Equação 2.5 de Lawhon *et al.* (1972):

$$\% CFE = \left(\frac{vApAg - vAnAg}{vAnAg} \right) 100 \quad Eq. 2.5$$

onde,

% CFE = incremento (ou aumento) do volume

$vApAg$ = volume (mL) após agitação

$vAnAg$ = volume (mL) antes da agitação

O volume de espuma foi calculado considerando-se como 100% o volume da espuma no tempo zero. A percentagem de sinérese, que é o inverso da estabilidade de espuma, foi calculada segundo a Equação 2.6 do método descrito por Satterlee *et al.* (1975):

$$\% Sinérese = \frac{VD}{VI - VN} 100 \quad Eq. 2.6$$

onde,

VD = volume (mL) diminuído após 30 minutos

VI = volume inicial (mL)

VN = volume da amostra que não formou espuma (mL)

2.2.3.6 Capacidade de formação gel

As suspensões de amostra de 2-10% p/v foram preparadas em água destilada. Dez mililitros de cada dispersão preparada foram transferidos para um tubo de ensaio. Cada tubo de ensaio foi aquecido em um banho de água fervente durante 1 hora, arrefeceu-se rapidamente sob água corrente, e depois arrefecida durante 2 horas a 4 °C. A menor concentração de gelificação foi tomada como a concentração na qual a amostra não cai do tubo de ensaio invertido (COFFMANN E GARCIAJ, 1977).

2.2.3.7 Densidade

Determinou-se a densidade aparente de acordo com a metodologia proposta por Okaka e Potter (1977) com algumas modificações. Utilizou-se uma balança semi-analítica e uma proveta graduada de 10 mL. Após bater-se a proveta 20 vezes, a massa da amostra (g) foi dividida pelo volume ocupado na proveta (mL); a densidade aparente (g.mL⁻¹) é dada de acordo com a Equação 2.7:

$$DA = \frac{p}{v} \quad \text{Eq. 2.7}$$

onde,

DA = densidade aparente (g.mL⁻¹)

p = massa da amostra na proveta (g)

v = volume ocupado pela amostra na proveta (mL)

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.3.1 Composição Centesimal

A Tabela 2.1 a seguir apresenta a composição centesimal da farinha da amêndoa do babaçu.

Tabela 2.1: Composição Centesimal da farinha da amêndoa do coco babaçu.

Composição	Média aritmética ± Desvio padrão
Umidade (%)	3,15 ±0,05
Cinzas (%)	1,09 ±0,09
Lipídios (%)	61,17 ±4,1
Proteína (%)	10,45 ±0,33
Carboidrato (%)	24,14
Valor Energético (Kcal/100 g)	688,89

A FA apresentou baixo teor de umidade (3,15%) em comparação a outras farinhas, Cardoso e Pena (2014) estudando a farinha da banana em diferentes estágios de maturação encontraram valores entre 8,73 a 9,95%; Sira *et al.* (2007) relataram valor de 9,11% para a farinha de mandioca; o estudo realizado por

Arévalo-Pinedo *et al.* (2013) revelaram valor 4,03% para FA direcionada a produção de uma barra de cereal. A diferença encontrada pode estar relacionada a diferença de região, cultivo e solo a qual as amêndoas foram coletadas, interferindo portanto na quantidade de água presente nas amêndoas e por conseguinte no teor de umidade.

A umidade é requisito básico para garantia da qualidade de farinhas, o teor de umidade da FA encontra-se dentro dos padrões determinados na legislação brasileira, que estabelece valores inferiores aos 15% (BRASIL, 2001).

As cinzas de uma amostra de alimento constitui-se no resíduo inorgânico que permanece após a queima de matéria orgânica. A cinza é constituída principalmente de grandes quantidades de K, Na, Ca e Mg, pequenas quantidades de Al, Fe, Cu, Mn e Zn e traços de Ar, I, F e outros elementos (GOIS *et al.*, 2013).

A porcentagem de cinzas totais da FA apresentou valor médio de 1,09% , sendo importante observar que a composição das cinzas corresponde à quantidade de substâncias minerais presentes nos alimentos, devido às perdas por volatilização ou mesmo pela reação entre os componentes, são consideradas como medida geral de qualidade e são utilizadas como critério na identificação dos alimentos (LEITE E DA SILVA, 2004).

O teor de cinzas da farinha, unicamente, não está relacionado com a qualidade final do produto, este fornece indicações sobre o grau de extração da farinha (GUTKOSKI *et al.*, 2003). De acordo com a Instrução Normativa nº 8, de 2 de junho de 2005 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), o teor de cinzas possibilita a classificação de farinhas de uso tipo 1, tipo 2 e integral. Uma farinha do tipo 1, apresenta teor de cinzas inferior a 0,8% expresso em base seca (BRASIL, 2005), como a FA apresentou teor de 1,09% classifica-se como tipo 2.

Os lipídios, as proteínas e os carboidratos são os macronutrientes essenciais ao organismo, pois fornecem ao corpo a energia e mantêm outros processos celulares vitais. Além disso, os lipídios servem como transportadores de nutrientes e das vitaminas lipossolúveis, substâncias solúveis em gorduras, como

as vitaminas A, D, E e K e juntamente com as proteínas formam a estrutura fundamental das membranas celulares (PITA, 2012).

A FA é rica em gorduras, obtendo-se valor médio de 61,17%. De acordo com Moretto e Fett (1998) citado por Arévalo-Pinedo *et al.* (2013), gordura do coco babaçu é rica em ácidos graxos saturados de baixo peso molecular, portanto de fácil digestão pelo organismo humano. O teor de lipídeos da FA foi superior ao encontrado por Arévalo-Pinedo *et al.* (2013) que obtiveram 47,16%.

As proteínas são moléculas orgânicas que atuam no organismo humano com funções estruturais e enzimáticas, dentre outras funções (NELSON E COX, 2011). A ingestão diária recomendada de proteína/dia para adultos é de 50 gramas, segundo a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA, 2003).

A farinha da amêndoa apresentou teor de proteína de 10,45% , resultado dentro dos parâmetros de farinhas estabelecidos pela legislação (BRASIL, 1978) que variam de 1,3 a 47%. A FA, portanto mostra-se boa fonte protéica, valor próximo ao da farinha de trigo 10,13% (VIEIRA *et al.*, 2010). Acredita-se que a substituição da farinha de trigo pela FA para a formulação de novos produtos alimentícios não altere seu valor nutricional, aliado à vantagem da matéria prima ser de baixo custo e abundante, principalmente no estado do Maranhão.

As proteínas são comumente usadas como ingredientes alimentares que são de fundamental importância na dieta humana, também atribuem propriedades sensoriais aos alimentos e proporcionam condições adequadas de funcionalidade (DAMODARAN E PARAFA, 1997). Estudos realizados com alimentos de origem vegetal vêm enfocando a caracterização e perfil dos nutrientes presentes nas sementes dos vegetais como fontes de proteína alternativa na dieta humana. O teor protéico da FA favorece a aplicação da mesma na fortificação de farinhas e elaboração de produtos, como biscoitos, bolos e pães.

O teor de carboidratos determinado para a FA foi de 24,14%. O teor de carboidrato da FA agrega valor nutricional, de modo que viabiliza o seu uso no desenvolvimento de produtos, visto que esta é boa fonte deste nutriente para o enriquecimento da alimentação humana.

O valor energético da FA foi calculado utilizando os fatores de conversão de Atwater: carboidratos 4 kcal.g⁻¹, proteínas 4 kcal.g⁻¹ e lipídios 9 kcal.g⁻¹ (MENDEZ *et al.*, 1995). O valor energético da FA foi de 688,89 Kcal/100 g, mostrando portanto que a FA é bastante energética e nutritiva, indicando sua potencialidade para substituição de outras farinhas sem alterar o valor energético e nutricional do alimento.

3.1 Propriedades Funcionais

A Tabela 2.2 apresenta os valores das propriedades funcionais da FA.

Tabela 2.2: Propriedades Funcionais da Farinha da Amêndoa do Babaçu.

Propriedade	Média ± Desvio Padrão
ISA	41,61 ± 1,37
CAA	196,67 ± 5,77
CAO	79,37 ± 0,64
CE	46,20 ± 0,85
EE	47,23 ± 0,84
CFE	2,46 ± 0,17
Sinérese	10,55 ± 0,56

A solubilidade de uma proteína é a manifestação termodinâmica do equilíbrio entre a interação proteína-proteína e proteína-solvente e está relacionada a seu balanço de hidrofiliicidade/hidrofobicidade (DAMODARAN E PARAF, 1997).

A solubilidade é uma das características mais importantes das proteínas e varia consideravelmente em função do pH e força iônica (BRASILEIRO *et al.*, 2012). Geralmente as proteínas requerem alta solubilidade para promover emulsão, espuma e geleificação (MELO FILHO E VASCONCELOS, 2011). A solubilidade em pH neutro ou no ponto isoeletrico costuma ser a primeira

propriedade funcional que se mede de um ingrediente proteico, já que as proteínas insolúveis têm pouca aplicação na indústria alimentícia (ORDÓÑEZ *et al.*, 2005).

Segundo Ordóñez *et al.* (2005), a principal vantagem da boa solubilidade é que permite a dispersão rápida e completa das moléculas proteicas, o que conduz a um sistema coloidal disperso e com estrutura homogênea; sendo essencial na elaboração de sopas desidratadas, bebidas, etc.

O Índice de Solubilidade em Água (ISA) da FA encontrada foi de 41,61%, valor relativamente alto em comparação com algumas farinhas de origem vegetal. Carvalho *et al.* (2010), encontraram resultados do ISA de 7,34 a 5,37% para extrusados de misturas de farinhas de pupunha e mandioca; Augusto-Ruiz *et al.* (2003), encontraram os valores do ISA para a farinha de arroz integral pré-gelatinizada de 6,73%, aveia de 4,44%, trigo de 5,78% e amido de milho de 4,18%; Limberger *et al.* (2008), modificaram o amido de quirera de arroz para aproveitamento na indústria de alimentos, onde o valor do ISA da quirera de arroz nativa é de 18,17% e a extrusada aumentou para 35,91%.

O perfil da solubilidade de uma proteína fornece uma indicação dos tipos de produtos ou de bebidas em que a proteína poderá ser incorporada. Conforme Augusto-Ruiz *et al.* (2003), a proteína que apresenta índice de solubilidade de 10% possui potencial para fabricação de produtos alimentícios instantâneos, o valor de ISA encontrado na FA é, portanto satisfatório para essa aplicação.

A capacidade de absorção de água (CAA) é uma propriedade que pode indicar o potencial de aplicabilidade de um concentrado protéico em sistemas alimentares aquosos, especialmente naqueles que envolvem a elaboração de massas (SILVA-SÁNCHEZ *et al.*, 2004), e está relacionada à capacidade de hidratação de uma proteína e à capacidade de reter a água absorvida contra a força da gravidade dentro de uma matriz protéica, o que depende, em parte, da sua composição em aminoácidos: quanto maior o número de resíduos carregados, maior a capacidade de hidratação da proteína (DAMADORAN, 1996).

A farinha da amêndoa do babaçu apresentou valor de CAA igual a 196,67%, resultado próximo ao encontrado por Sangronis *et al.* (2004), nas diferentes farinhas de leguminosas analisadas que variaram de 150% a 270%. Já

Porte, Alexandre *et al.* (2011), observaram valores bem altos para a farinha de sementes de abóbora de 446,80% e para a farinha de sementes de mamão 640,88%, devido o elevado teor de fibras que, normalmente, é encontrado nas sementes desses vegetais.

As propriedades funcionais de interação de proteína-água (retenção de água) são importantes na formulação de determinados alimentos, como bolos, pães e, sobretudo de derivados de carne: embutidos, salsichas, almondegas e salgados, nos quais as proteínas também exercem papel de espessantes, conferindo mais consistência ao produto (CHEFTEL *et al.*, 1985). Logo a boa capacidade de absorção de água da FA indica que a mesma apresenta-se com bom potencial para aplicação em produtos cárneos, pastelaria, bolos, pães e massas em geral.

A Capacidade de Absorção de Óleo (CAO) é importante na produção de alimentos, pois pode influenciar na ordem de adição dos ingredientes secos na mistura (FONTANA *et al.*, 2009), sendo que altos valores dessa propriedade são desejáveis para melhorar a sensação dos produtos na boca (KINSELLA E MELACHOURIS, 1976).

A média da CAO encontrada foi de 79,37% , indicando que a FA possui maior afinidade pela água que pelo óleo. Castilho *et al.* (2010), encontraram para a farinha de tremço doce 120% e farinha de feijão guandu 100%; Sangronis *et al.* (2004), apresentaram altos valores para as farinhas de leguminosas de 160 a 280%; Porte, Alexandre *et al.* (2011), também encontraram valores superiores na farinha de sementes de abóbora 180,28% e farinha de sementes de mamão 247,61%.

Dench *et al.* (1981), sugerem que a absorção de óleo varia em função do número de grupos hidrofóbicos expostos da proteína, e Lin *et al.* (1974) afirmam que as cadeias laterais não polares das proteínas têm estrita afinidade com as cadeias hidrofóbicas da molécula de gordura e contribuem para a absorção. O perfil de absorção da FA permite sugerir que esta apresentou boa CAO, entretanto nota-se que a CAO é pequena em comparação à CAA, revelando a baixa interação

das sequências de grupos de aminoácidos apolares da farinha com as cadeias hidrofóbicas da molécula de gordura resultando em menor retenção de óleo.

A hidrofobicidade das proteínas ocupa o principal papel na absorção de óleo e favorece a utilização de alimento proteico na produção de carnes simuladas, linguiças, salsichas, patês, bolos e massas (CAVALCANTI *et al.*, 2009).

A capacidade emulsificante das proteínas está relacionada com a correlação existente entre propriedades emulsificantes e a superfície hidrofóbica das proteínas que influencia na estabilidade da emulsão (DUA *et al.*, 1996). A formação da emulsão é facilitada pela redução da tensão interfacial entre a água e o óleo (ELIZALDE *et al.*, 1988), sendo que a estabilidade da emulsão se refere à habilidade da proteína para formar uma emulsão que permaneça sem mudanças durante um tempo de duração determinado, sob condições específicas de tempo ou temperatura (KINSELLA E MELACHOURIS, 1976).

Muitas vezes é importante para a indústria de alimentos saber sobre essa propriedade, com isso é possível determinar a quantidade mínima de emulsionante para criar uma emulsão estável no produto. Um emulsionante eficiente produz uma emulsão em que não há separação visível das fases de óleo e água ao longo do tempo (MCCLEMENTS, 1998).

A propriedade emulsificante da proteína é importante para vários produtos alimentares, tais como creme de leite, glacês, manteiga, queijo fundido, maionese, carne finamente moída do tipo utilizada em salsichas e outros embutidos, além de que os constituintes protéicos exercem função importante na estabilização do sistema coloidal (CHEFTEL *et al.*, 1985).

Os resultados obtidos para a FA em relação à Capacidade Emulsificante (CE) foi de 46,20% e Estabilidade de Emulsão (EE) de 47,23%, valores próximos ao encontrado por Porte, Alexandre *et al.* (2011), na farinha de semente de mamão e abóbora a CE foi de 48,06 e 48,14% e a EE foi de 48,06 e 48,14%, respectivamente; valores considerados baixos indicando a inadequação do uso dessas farinhas como substitutos de ingredientes em sistemas de emulsão.

A capacidade de formação de espuma refere-se à expansão de volume da dispersão proteica com a incorporação de ar por batimento, agitação ou aeração. É

uma propriedade funcional de interface que depende da natureza da proteína, da solubilidade e do estado de desnaturação da proteína, da presença de sais e de outros aditivos utilizados no processamento de alimentos (SPEROTTO, 2014).

A razão pela qual as farinhas são capazes de produzir espuma é que as proteínas têm uma superfície ativa. Uma maior concentração de proteína cria interações proteína-proteína na interface ar-água, mas também promove à formação de um filme multicamada que oferece uma elevada resistência viscoelástica para a coalescência de bolhas, o que aumenta a estabilidade da espuma (CHAPARRO ACUÑA *et al.*, 2012).

A propriedade de formar espuma é usualmente representada por dois parâmetros, espumabilidade e estabilidade da espuma. A estabilidade de espuma diz respeito à retenção do volume máximo de espuma formada em função do tempo de repouso, sendo geralmente medida pela liberação de fluido da espuma (SGARBIERI, 1996). Conforme James e Solan (1984), a sinérese é uma medida mais adequada do que a determinação do volume de espuma para verificar a estabilidade de espuma.

A capacidade de formar espuma estável em presença de ar é uma propriedade funcional importante das proteínas em muitos produtos alimentícios do tipo bolos, suspiros, sorvetes, suflês, vários tipos de cobertura de bolos e sobremesas, além de bebidas como as cervejas (SATHE E SALUNKHE, 1981).

A média da Capacidade de Formação de Espuma (CFE) foi de 2,46% e a Sinérese 10,55%, ou seja, a FA não formou quantidade suficiente de espuma. Porte, Alexandre *et al.* (2011), sugerem a inadequação de farinha que não apresente propriedades espumantes (CFE e estabilidade de espuma) como ingredientes em sistemas alimentares que requeiram esta propriedade, como sorvetes, mousses, merengues e outros.

Um gel é um estado intermediário entre um sólido e um líquido. A geleificação proteica consiste na formação de uma rede proteica ordenada a partir de proteínas. A geleificação proteica é uma propriedade funcional que se aplica não apenas à formação de géis viscoelásticos, mas também para melhorar a absorção de água, viscosidade, adesão entre partículas e para estabilizar emulsões

e espumas (ORDÓÑEZ *et al.*, 2005; MELO FILHO E VASCONCELOS, 2011). A Tabela 2.3 mostra os resultados obtidos para a capacidade de Formação de Gel da FA.

Tabela 2.3: Capacidade de Formação de Gel da Farinha da Amêndoa (FA)

Concentração (w/v)	2%	4%	6%	8%	10%
Formação de Gel	Não	Não	Não	Sim	Sim

A concentração mínima de FA necessária para formar gel foi de 8%. Chaparro Acuña *et al.* (2012), relataram formação de gel para a farinha de vitabosa em 10%; Sangronis *et al.* (2004), encontraram resultados semelhantes para a formação de gel nas farinhas de leguminosas germinadas 8%, porém os géis formados foram caracterizados como fraco devido à facilidade que deslizou do tubo invertido, ao contrário do resultado obtido na FA onde o gel formado demonstrou boa resistência e não deslizou facilmente no tubo invertido.

A capacidade geleificante desempenha papel fundamental em determinados alimentos, como produtos lácteos, produtos de carne cozidos, gelatinas, massa de pão, etc. (ORDÓÑEZ *et al.*, 2005).

A densidade é um dos fatores que pode influenciar na solubilidade da proteína. É importante conhecer a densidade dos alimentos nos processos de separação, pois diferenças na densidade podem ter efeitos importantes na operação de redução de tamanho e em equipamentos de mistura (FELLOWS, 2006).

A média da densidade encontrada na FA é de 0,54 g.mL⁻¹. Chaparro Acuña *et al.* (2012) encontraram para a farinha de vitabosa 0,61 g.mL⁻¹ e para a farinha de soja 0,97 g.mL⁻¹; Souza *et al.* (2012) apresentaram valor de 0,61 g.mL⁻¹ para a farinha de fruta-pão; Baljeet *et al.* (2010) encontraram a densidade aparente da farinha de trigo 0,81 g.mL⁻¹ e da farinha de trigo refinado 0,73 g.mL⁻¹.

2.4 CONCLUSÕES

A composição centesimal de um alimento demonstra de forma básica o valor nutritivo. O teor de cinzas teve valor médio de 1,09% classificando-se como farinha do tipo 2 conforme Instrução Normativa do MAPA, o valor de umidade

foi 3,15% bem abaixo do teor de outras farinhas, o que minimiza a proliferação de microrganismos, e aumenta sua vida de prateleira. O teor de lipídios foi 61,17%, a quantidade de proteínas foi de 10,45% estando dentro dos limites estabelecidos pela legislação, carboidratos 24,14% e valor energético 688,89 Kcal. Tais resultados evidenciam que a FA apresenta grande valor energético e revela sua favorável potencialidade para a elaboração de novos produtos e inserção da farinha à alimentação humana.

A FA mostra-se promissora quanto fonte alternativa no desenvolvimento de novos produtos e como substituto em produtos já disponíveis no mercado. A FA demonstrou boas propriedades funcionais tecnológicas, evidenciando seu potencial para alimentos que requeiram bons valores de ISA, CAA e Geleificação. A CAO e Densidade mostraram valores razoáveis em comparação com outras farinhas, e às propriedades emulsionantes e espumantes não demonstraram valores significativos sugerindo sua inadequação para alimentos que demandem altos valores dessas características.

2.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

ALBIERO, D. et al. Proposta de uma máquina para colheita mecanizada de babaçu (*Orbignya phalerata* Mart.) para a agricultura familiar. **Acta Amazonica**, v. 37, p. 337-346, 2007. ISSN 0044-5967. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0044-59672007000300004&nrm=iso >.

ANDERSON, A. B.; BALICK, M. J. Taxonomy of the Babassu Complex (*Orbignya* spp Palmae). **Systematic Botany**, v. 13, n. 1, p. 32-50, Jan-Mar 1988. ISSN 0363-6445. Disponível em: < <Go to ISI>://WOS:A1988M120400005 >.

ANDERSON, R. A. et al. Gelatinization of corn grits by Roll- and extrusion-cooking. **Cereal Science Today**, v. 14, n. 1, p. 4-12, 1969.

ANVISA. **CONSULTA PÚBLICA Nº 62, de 13 de dezembro de 2003. Regulamento Técnico para Produtos de Cereais, Amidos, Farinhas e Farelos**. Brasília: Agência Nacional de Vigilância Sanitária 2003.

AOAC. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists (method 920.39,C)**. Arlington: Association of Official Analytical Chemists, 1995a.

_____. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists (method 991.20)**. Arlington: Association of Official Analytical Chemists, 1995b.

_____. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists (method 900.02)**. Arlington: Association of Official Analytical Chemists, 1996.

ARÉVALO-PINEDO, A. et al. Desenvolvimento de barra de cereais à base de farinha de amêndoa de babaçu (*Orbygnia speciosa*). **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 15, n. 4, p. 405-411, 2013.

AUGUSTO-RUIZ, W. et al. Caracterização da farinha pré-gelatinizada de arroz integral produzida a partir de grãos quebrados. **Vetor**, Rio Grande, v. 13, p. 25-46, 2003. ISSN 0102-7352.

BALJEET, S. Y.; RITIKA, B. Y.; ROSHAN, L. Y. Studies on functional properties and incorporation of buckwheat flour for biscuit making. **International Food Research Journal**, v. 17, p. 1067-1076, 2010.

BARROS, I. D. C. **Avaliação Biofarmacotécnica de potencial excipiente farmacêutico: pó de mesocarpo de babaçu (Orbignya phalerata Mart.)**. Programa de Pós-Graduação em Ciências Farmaceutica, p.93. 2011

BOEN, T. R. et al. Avaliação do teor de ferro e zinco e composição centesimal de farinhas de trigo e milho enriquecidas. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, v. 43, p. 589-596, 2007. ISSN 1516-9332. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-93322007000400012&nrm=iso >.

BRASIL. **Resolução da Comissão Nacional de Normas e Padrões para Alimentos- CNNPA n. 12-**. Brasília: Ministério da Saúde. Secretária de Vigilância Sanitária. 1978.

_____. **Instrução Normativa - SARC nº 7 de 15 de agosto de 2001. Aprova o regulamento técnico de identidade e qualidade do trigo**. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2001.

_____. **Instrução Normativa nº 8, de 02 de junho de 2005 – Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade da Farinha de Trigo**. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2005.

BRASILEIRO, O. L. et al. Determination of the chemical composition and functional properties of shrimp waste protein concentrate and lyophilized flour. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 36, p. 189-194, 2012. ISSN 1413-7054. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-70542012000200007&nrm=iso >.

CARDOSO, J. M.; PENA, R. D. S. Hygroscopic behavior of banana (*Musa ssp. AAA*) flour in different ripening stages. **Food and Bioproducts Processing**, v. 92, n. 1, p. 73-79, 1// 2014. ISSN 0960-3085. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960308513000813> >.

CARRAZZA, L. R.; ÁVILA, J. C. C.; SILVA, M. L. **Manual Tecnológico de Aproveitamento Integral do Fruto e da Folha do Babaçu (*Attalea ssp.*)**. Instituto Sociedade, População e Natureza. 2012

CARVALHO, A. V. et al. Caracterização tecnológica de extrusados de terceira geração à base de farinhas de mandioca e pupunha. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, p. 995-1003, 2010. ISSN 1413-7054. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-70542010000400028&nrm=iso >.

CASTILHO, F.; FONTANARI, G. G.; BATISTUTI, J. P. Avaliação de algumas propriedades funcionais das farinhas de tremçoço doce (*Lupinus albus*) e feijão guandu (*Cajanus cajan* (L) Millsp) e sua utilização na produção de fiambre. **Food Science and Technology (Campinas)**, v. 30, p. 68-75, 2010. ISSN 0101-2061. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-20612010000100010&nrm=iso >.

CAVALCANTI, M. T.; BORA, P. S.; CARVAJAL, J. C. L. Propriedades funcionais das proteínas de amêndoas da faveleira (*Cnidosculus phyllacanthus* (Mart.) Pax. et K. Hoffm.) com e sem espinhos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 3, p. 597-602,, 2009.

CHAPARRO ACUÑA, S. P.; GIL GONZÁLEZ, J. H.; ARISTIZÁBAL TORRES, I. D. Physicochemical characteristics and functional properties of vitabosa (*mucuna deeringiana*) and soybean (*glycine max*). **Food Science and Technology (Campinas)**, v. 32, p. 98-105, 2012. ISSN 0101-2061. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-20612012000100015&nrm=iso >.

CHEFTEL, J. C.; CUQ, J. L.; LORIENT, D. Proteines alimentaires. **Technique et documentation**, v. Paris, p. 309, 1985.

CLEMENT, C. R.; LLERAS PERES, E.; VAN LEEUWEN, J. O potencial das palmeiras tropicais no Brasil: Acertos e fracassos das ultimas décadas. **Agrociencias**, v. 1-2, n. 9, p. 67-71, 2005.

COFFMANN, C. W.; GARCIAJ, V. V. Functional properties and amino acid content of a protein isolate from mung bean flour. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 12, n. 5, p. 473-484, 1977. ISSN 1365-2621. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2621.1977.tb00132.x> >.

DAMADORAN, S. Amino acids, peptides and proteins. **In: FENNEMA, O.R.(Ed). Food Chemistry**, v. 3 ed., 1996.

DAMODARAN, S.; PARAFA, A. Food proteins and their applications. . **New York-USA: Marcel Dekker**, , 1997.

DENCH, J. E.; RIVAS R, N.; CAYGILL, J. C. Selected functional properties of sesame (*Sesamum indicum* L.) flour and two protein isolates. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 32, n. 6, p. 557-564, 1981. ISSN 1097-0010. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1002/jsfa.2740320606> >.

DUA, S.; MAHAJAN, A.; MAHAJAN, A. Improvement of functional properties of rapeseed (*Brassica campestris* Var. Toria) preparations by chemical modification. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 44, p. 706-710, 1996.

ELIZALDE, B. E. et al. Physicochemical properties of food proteins related to their ability to stabilize oil-in-water emulsions. **J. Food Sci.**, v. 53, p. 845-848, 1988.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e práticas**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. 25-28.

FONTANA, A. et al. Obtenção e avaliação de concentrados proteicos de corvina (*Micropogonias furnieri*) processados por extração química. **Química Nova**, v. 32, p. 2299-2303, 2009. ISSN 0100-4042. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422009000900011&nrm=iso >.

GOIS, G. C. et al. Composição do mel de *Apis mellifera*: Requisitos de qualidade. **Acta Veterinaria Brasilica**, v. 7, n. 2, p. 137-147, 2013. ISSN 1981-5484.

GRIZOTTO, R. K. et al. Evaluation of the quality of a molded sweet biscuit enriched with okara flour. **Food Science and Technology (Campinas)**, v. 30, p. 270-275, 2010. ISSN 0101-2061. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-20612010000500041&nrm=iso >.

GUTKOSKI, L. C.; NODARI, M. L.; JACOBSEN NETO, R. Avaliação de farinhas de trigos cultivados no Rio Grande do Sul na produção de biscoitos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 23, n. ssupl, 2003.

HSU, D. L. et al. Effect of germination on electrophoretic, functional, and bread-baking properties of yellow pea, lentil, and faba bean protein isolates. **Cereal Chemistry**, v. 59, n. 5, p. 344-350, 1982.

JAMES, C.; SLOAN, S. Functional Properties of Edible Rice Bran in Model Systems. **Journal of Food Science**, v. 49, n. 1, p. 310-311, 1984. ISSN 1750-3841. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2621.1984.tb13741.x> >.

KINSELLA, J. E.; MELACHOURIS, N. Functional properties of proteins in foods: a survey. **Critical Reviews in Food Science & Nutrition**, v. 7, n. 3, p. 219-280, 1976. ISSN 0099-0248.

LAWHON, J. T.; CATER, C. M.; MATTIL, K. F. A comparative study of the whipping potential of an extract from several oilseed flours. **Cereal Science Today**, v. 17, n. 9, p. 240-246, 1972.

LEITE, C. A.; DA SILVA, F. L. H. Caracterização físico-química do suco da acerola. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 4, n. 2, 2004.

LIMBERGER, V. M. et al. Modificação química e física do amido de quirera de arroz para aproveitamento na indústria de alimentos. **Química Nova**, v. 31, p. 84-88, 2008. ISSN 0100-4042. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422008000100018&nrm=iso >.

LIN, M. J. Y.; HUMBERT, E. S.; SOSULSKI, F. W. Certain functional properties of sunflower meal products. **Journal of Food Science**, v. 39, n. 2, p. 368-370, 1974. ISSN 1750-3841. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2621.1974.tb02896.x> >.

MAY, P. H. et al. Subsistence benefits from the babassu palm (*Orbignya Martiana*). **Economic Botany**, v. 39, n. 2, p. 113-129, 1985. ISSN 0013-0001. Disponível em: < <Go to ISI>://WOS:A1985AGZ1100002 >.

MCCLEMENTS, D. J. **Food Emulsions: Principles, Practice, and Techniques**. Taylor & Francis, 1998. ISBN 9780849380082. Disponível em: < <http://books.google.com.br/books?id=huCSbPwyvBoC> >.

MELO FILHO, A. B. D.; VASCONCELOS, M. A. D. S. **Química de Alimentos**. Recife: UFRPE, 2011.

MENDEZ, M. H. M. et al. **Tabela de Composição de Alimentos**. Niterói: 1995.

MORETTO, E.; FETT, R. **Tecnologia de óleos e gorduras vegetais na indústria de alimentos**. São Paulo: Varela Editora e Livraria Ltda., 1998.

NELSON, D. L.; COX, M. M. Princípios de bioquímica de Lehninger. In: (Ed.). **Princípios de Bioquímica de Lehninger**: Artmed, 2011.

NYAM, K. L. et al. Functional properties of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) seed and its application as bakery product. **Journal of Food Science and Technology-Mysore**, v. 51, n. 12, p. 3830-3837, Dec 2014. ISSN 0022-1155. Disponível em: < <Go to ISI>://WOS:000345916400029 >.

OETTERER, M.; REGITANO-D'ARCE, M. A. B.; SPOTO, M. H. F. **Fundamentos de Ciência e Tecnologia de Alimentos**. Barueri, SP: Manole, 2006. p. 381-384.

OKAKA, J. C.; POTTER, N. N. Functional and storage properties of cowpea powder-wheat flour blends in breadmaking. **Journal of Food Science**, v. 42, n. 3, p. 828-833, 1977. ISSN 1750-3841. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2621.1977.tb12614.x> >.

ORDÓÑEZ, J. A. et al. **Tecnologia de Alimentos: Componentes dos Alimentos e Processos**. Porto Alegre: Artmed, 2005. p. 51-62.

PINHEIRO, C. U. B.; FRAZAO, J. M. F. Integral processing of babassu palm (*Orbignya-Phalerata*, Arecaceae) fruits - village level production in Maranhao, Brazil. **Economic Botany**, v. 49, n. 1, p. 31-39, Jan-Mar 1995. ISSN 0013-0001. Disponível em: < <Go to ISI>://WOS:A1995QL93600004 >.

PITA, J. D. S. L. **Caracterização físico-química e nutricional da polpa e farinha da casca de maracujazeiros do mato e amarelo**. Dissertação-Mestrado em Engenharia de Alimentos, p.80. 2012

PORTE, A. et al. Propriedades funcionais tecnológicas das farinhas de sementes de mamão (*Carica papaya*) e de abóboras (*Cucurbita* sp). **Rev Bras Prod Agro**, v. 13, n. 1, p. 91-6, 2011.

PORTE, A. et al. Propriedades funcionais tecnológicas das farinhas de sementes de mamão (*Carica papaya*) e de abóbora (*Cucurbita* sp). **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 13, n. 1, p. 91-96, 2011. ISSN 1517-8595.

RASPER, V. F. **Quality evaluation of cereal and cereal products.** In: LORENZ, K. J.; KULP, K. (Eds.). **Handbook of cereal science and technology.** New York: Marcel Dekker, 1991.

SAHAN, Y. et al. Chemical and techno-functional properties of flours from peeled and unpeeled oleaster (*Elaeagnus angustifolia* L.). **Journal of Applied Botany and Food Quality**, v. 88, p. 34-41, 2015. ISSN 1439-040X. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:000350980900007 >.

SANGRONIS, E.; MACHADO, C.; CAVA, R. Propiedades funcionales de las harinas de leguminosas (*Phaseolus vulgaris* Y *Caján cajan*) germinadas. **Interciencia**, v. 29, p. 80-85, 2004. ISSN 0378-1844. Disponível em: <http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442004000200007&nrm=iso >.

SATHE, S. K.; SALUNKHE, D. K. Functional properties of great northern bean (*Ph. vulgaris* L) proteins: emulsions, foaming, viscosity, and gelation properties. **Journal Food Science**, v. 46, p. 71-74, 1981.

SATTERLEE, L. D.; BEMBERS, M.; KENDRICK, J. G. Functional properties of the great northern bean (*Phaseolus vulgaris*) protein isolate. **Journal of Food Science**, v. 40, n. 1, p. 81-84, 1975. ISSN 1750-3841. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2621.1975.tb03741.x> >.

SGARBIERI, V. C. Proteínas do leite e derivados. In: (Ed.). **Proteínas em alimentos protéicos. Propriedades. Degradações. Modificações.** São Paulo: Livraria Varela, 1996. p. 139-157.

SHEVKANI, K. et al. Cowpea protein isolates: Functional properties and application in gluten-free rice muffins. **LWT - Food Science and Technology**, v. 63, n. 2, p. 927-933, 10// 2015. ISSN 0023-6438. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643815003400> >.

SILVA-SÁNCHEZ, C. et al. Functional and rheological properties of amaranth albumins extracted from two mexican varieties. **Plant Foods for human nutrition**, v. 59, p. 169-174, 2004.

SIRA, E. E. P. et al. Production and characterization of cassava (Manihot esculenta Crantz) flours using different thermal Treatments. **Interciencia**, v. 32, n. 9, p. 615-619, 2007. ISSN 0378-1844.

SOEIRO, B. T. et al. Investigação da qualidade de farinhas enriquecidas utilizando análise por componentes principais (PCA). **Ciênc Tecnol Aliment**, v. 30, n. 3, p. 618-24, 2010.

SOSULSKI, F. W. The centrifuge method for determining flour absorption in hard red spring wheats. **Cereal Chemistry**, v. 39, p. 344-350, 1962.

SOUZA, D. S. et al. Elaboração de farinha instantânea a partir da polpa de fruta-pão (Artocarpus altilis). **Ciência Rural**, v. 42, p. 1123-1129, 2012. ISSN 0103-8478. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782012000600028&nrm=iso >.

SPEROTTO, R. A. **Protocolos e métodos de análise em laboratórios de biotecnologia**. Lajeado: Editora da Univates, 2014.

VIEIRA, J. C. et al. Qualidade física e sensorial de biscoitos doces com fécula de mandioca. **Ciência Rural**, v. 40, p. 2574-2579, 2010. ISSN 0103-8478. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782010001200022&nrm=iso >.

YULIANA, M. et al. Isolation and characterization of protein isolated from defatted cashew nut shell: Influence of pH and NaCl on solubility and functional properties. **LWT - Food Science and Technology**, v. 55, n. 2, p. 621-626, 3// 2014. ISSN 0023-6438. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643813003770> >.

CHAPTER 3: SORPTION

ISOTHERMS OF THE ALMOND FLOUR OF THE BABASSU COCONUT (*Orbignya sp*)



**Pintura da Saída da cidade de Esperantinópolis-MA, a palmeira do babaçu
sempre presente**

Autora: Artista Esperantinopense Cristiana Lima

RESUMO

O babaçu (*Orbignya sp*) é uma palmeira de até 20 m de altura, que se encontra naturalmente no Brasil e na Colômbia. A amêndoa é o principal produto do fruto do babaçu e sua extração se concentra no nordeste onde o estado do Maranhão é responsável por 94,4% da produção nacional. Após a extração do leite da amêndoa é obtida uma farinha muito nutritiva que na maioria das vezes é descartada ou utilizada como ração para animais. Este trabalho teve por objetivo estudar as isotermas de adsorção da farinha da amêndoa e determinação do calor isostérico de sorção. As isotermas de adsorção para as temperaturas de 20, 30, 40 e 50 °C foram analisadas. Os dados experimentais de umidade de equilíbrio foram correlacionados pelos modelos de GAB, Henderson, Oswin, Halsey e Iglesias e Chirife. O modelo de Halsey apresentou melhor concordância com os dados experimentais, entre os modelos avaliados.

Palavras-chave: Isotermas de Sorção; Babaçu; Farinha da Amêndoa

ABSTRACT

Babassu (*Orbignya sp*) is a palm tree up to 20 m height, which is naturally found in Brazil and Colombia. The Almond is the main product of the babassu fruit and its extraction concentrates in the Northeast where Maranhão state is responsible by 94,4% of the national production. After almond milk extraction, a nutritive flour is obtained which in the most of the time is disposed or used as animal ration. This work intended to study the sorption isotherms of the almond flour and the determination of the isosteric heat of sorption. The adsorption isotherms at temperatures of 20, 30, 40 and 50 °C. The experimental data of equilibrium moisture were correlated by thr GAB, Henderson, Oswin, Halsey and Iglesias and Chirife models. The Halsey model presented better agreement with the experimental data, among the evaluated models.

Keywords: Sorption Isotherms; Babassu; Almond Flour

3.1 INTRODUCTION

The babassu (*Orbignya sp*) is a palm tree up to 20 m height, which is naturally found in Brazil and Colombia. The main products are the fruits, small coconuts fixed in bunches with 15-25 coconuts each one (TEIXEIRA, 2008). The babassu is found with higher frequency in the regions Northeast, North and Midwest. In these regions, the extractive reserve of babassu coconut are the survival way of many communities (TEIXEIRA, 2002).

The coconut (fruit) or coquilho nut of babassu is composed by four main parts: Epicarp, Mesocarp, Endocarp and Almonds. It is from the almond that the main sub products of babassu are extracted. Its extraction concentrates in the Northeast from where comes 99,7% of the national production, pointing out Maranhão state with 94,4% of the national production with 84.688 tons and R\$ 114,3 millions in value of production (IBGE, 2013).

The flour obtained after the milk production or the oil extraction of the almond of the babassu is much nutritive and many times is disposed or used to feed chickens and pigs.

The physical, chemical and microbiological stabilities in foods are mainly established by the concentration of moisture and by the equilibrium relation of the water activity (a_w), at a specific temperature (MYHARA *et al.*, 1998).

The water activity and the moisture of a food are related through the sorption isotherm, which is the curve that registers the equilibrium and for a specific temperature, the content of water removed from the food, according to the relative humidity that circumvent it (ROCKLAND E BEUCHAT, 1987).

The sorption isotherms are unique to each type of food because the water is associated to the food matrix by different mechanisms in different stages of the water activity (LABUZA, 1974). For this reason, the information about the hygroscopic properties has a great importance to develop the drying process and to determine the conditions of storage of the almond flour.

The knowledge of water sorption isotherms and the isosteric heat are essentially important to figure the various stages of the food process, like drying, storage and on the selection of packaging, helping to calculate the drying time, to

predict the components behavior of the mixture made to produce the processed food, from the curves of the pure components, besides to select the appropriate material of package, to evaluate the variation of moisture during storage and to estimate the useful life of the products in low moisture (LOMAURO *et al.*, 1985). Studies detach the importance of these properties, such as studies realized about green coconut pulp (LAVOYER *et al.*, 2013), tapioca flour (CHISTE *et al.*, 2012) and jackfruit (PRETTE *et al.*, 2013).

These properties give information about sorption mechanisms and interactions between the food components and the water. They, also, help to establish the content of final moisture of a product and allow calculating the required energy for the performance of the drying unit (GABAS *et al.*, 2000).

Many empirical and semi empirical equations are used to predict adsorption isotherms and desorption of water in food (PENG *et al.*, 2007). In the literature numerous mathematical models are found to predict the sorption behavior of water in the food material. Some of them are presented in the work of Lopes *et al.* (2002); Pumacahua-Ramos *et al.* (2016). The criteria used to select the most appropriate model is the degree adjusted to experimental data and its physical meaning.

3.2. MATERIALS AND METHODS

3.2.1 Raw Material

The almonds of the babassu coconut obtained at a street market of the town Bacabal, MA, were weighted and washed by immersion in running water. After washed, the almonds were disintegrated in industrial blender, on the proportion of 2 parts of water for 1 part of almond (v/w), until obtaining a homogeneous consistency during 15 minutes approximately. The homogenized was mechanically pressed and sieved, obtaining babassu milk and Almond Flour (AF) as the products.

3.2.2 Determination of the Sorption Isotherms

The contents of equilibrium moisture of the Almond Flour were determined by the static gravimetric method (JOWITT *et al.*, 1987) on the acquisition of the sorption isotherms at temperatures of 20, 30, 40 and 50 °C ± 1 °C. The saturated solutions of salts provided values of water activity (a_w) from 0.056 to 0.851. The tests were conducted in triplicate.

3.2.3 Modeling of the Sorption Isotherms

The experimental data obtained from the sorption isotherms of the Almond Flour were modelled and simulated using theoretical and empirical models, Equations. 1 to 5. In the models, the content of moisture is described as a function of the water activity and the temperature (ANDERSON, 1946; IGLESIAS E CHIRIFE, 1976; CHEN E MOREY, 1989; RIZVI, 2005).

Table 3.4: Mathematical models applied to experimental data of sorption of the Almond Flour of the Babassu.

Equations	Model	
$X = \frac{X_m C K a_w}{(1 - K a_w)(1 + (C - 1) K a_w)}$	GAB	(1)
$X = \left[\frac{\ln(1 - a_w)}{-A(B + T)} \right]^{\frac{1}{C}}$	Henderson	(2)
$X = (A + BT) \left[\frac{a_w}{(1 - a_w)} \right]^{\frac{1}{C}}$	Oswin	(3)
$X = \left[\frac{K}{\ln \frac{A}{a_w}} \right]^{\frac{1}{B}}$	Halsey	(4)
$X = (A + BT) \left[\frac{a_w}{(1 - a_w)} \right] + C$	Iglesias e Chirife	(5)

3.2.4 Isostatic Heat of Sorption

The isosteric heat of sorption (Q_{st} , $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$) was calculated using Clausius-Clapeyron equation and it will be used to estimate the excess heat of sorption (q_{st}), according to Equation 6.

$$\left. \frac{\partial \ln(p/p_0)}{\partial (1/T)} \right|_x = \left. \frac{\partial \ln(a_w)}{\partial (1/T)} \right|_x = -\frac{Q_{st} - \lambda}{R} = -\frac{q_{st}}{R} \quad (6)$$

where:

R = universal constant of gases

T = absolute temperature

p = equilibrium pressure

p_0 = vapor pressure of water

λ = heat of vaporization of pure water

For this, Halsey model was used to determine the excess of isosteric heat of sorption as a function of the moisture of the AF.

A linear regression of the natural logarithm data of the water activity versus the inverse of the absolute temperature was applied with different moistures, where the heat of sorption value agree with the angular coefficient of each stretch multiplied by the constant of gases. This method has already been applied in flours such as from corn (RAMIREZ-MIRANDA *et al.*, 2014), rice (SANDOVAL *et al.*, 2011), cassava (AYALA-APONTE, 2011) and Portuguese chestnut (CHENLO *et al.*, 2011), who calculated the Q_{st} at different levels of moisture content.

Using the Equation 6 and considering the calculations for build isotherms, the q_{st} values were determined. The heat of sorption and moisture data were adjusted according to the Equation 8 (TSAMI *et al.*, 1990), using the software *OriginPro 8* (OriginLab Corporation, USA).

$$\ln \left(\frac{a_{w2}}{a_{w1}} \right) \Big|_x = -\frac{q_{st}}{R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) \quad (7)$$

$$q_{st} = q_0 \exp(-X_{eq}/X_0) \quad (8)$$

where:

q_0 = isosteric heat of sorption of the monolayer of water.

X_{eq} = equilibrium moisture

X_0 = moisture inherent to food material

3.2.5. Parameters estimate and statistical analysis

The parameters of the models in Table 3.1 were estimated by the adjustment of the equations in the experimental data using the function “Nonlinear Curve Fit” of the software *OriginPro 8* (OriginLab Corporation, USA).

The coefficient of determination (R^2) (Equation 11) and the medium relative error (MRE) (Equation 12) were used to evaluate the precision of the model. The statistical parameter R^2 defines the efficiency of the model with the ranging of data and the MRE measures the standard error in the estimate of the simulated data with the experimental ones (SHESKIN, 2011).

$$R^2 = \frac{\sum_{k=1}^N (y_k^* - \bar{y})^2}{\sum_{k=1}^N (y_k - \bar{y})^2} \quad (11)$$

$$MRE = \frac{100}{N} \sum_{k=1}^N \frac{|y_k - y_k^*|}{y_k^*} \quad (12)$$

In Equations 11 and 12, y represents the experimental values, y^* represents the estimated values, $\bar{y}$ is the average and N is the number of experimental values.

3.3 RESULTS AND DISCUSSION

Table 3.2 shows the experimental results obtained for the sorption isotherms of the AF. The content of the equilibrium moisture varied from: 0,036 to 0,293 kg · kg⁻¹ b.s, while water activities varied between 0,056 and 0,851. It was noted a similar tendency for all experimental results obtained for the AF. It was verified that the values of the equilibrium moisture reduced as the temperature increased, in each level of water activity.

The relation between the temperature and the water activity is explained by the moisture content decreasing, due to the excited condition of the water

molecules increase to high temperatures, increasing the distance between the molecules and reducing its attractive force among them (LAVOYER *et al.*, 2013).

The results of the equilibrium moisture content reported in the literature for products as quinoa (PUMACAHUA-RAMOS *et al.*, 2016), cucumber seeds (CORRÊA *et al.*, 2015) and cassava flour (AYALA-APONTE, 2016), demonstrated similarities between the experimental values and the sorption isotherms obtained for AF.

Table 3.5: Experimental equilibrium moisture (kg H₂O/kg dry matter) for Almond Flour of the Babassu at temperatures of 20 °C, 30 °C, 40 °C and 50 °C.

T = 20 °C		T = 30 °C	
a_w	X_{eq}	a_w	X_{eq}
0.067	0.057 ± 0.001	0.063	0.049 ± 0.002
0.118	0.051 ± 0.001	0.111	0.050 ± 0.001
0.184	0.067 ± 0.000	0.164	0.065 ± 0.001
0.249	0.066 ± 0.001	0.226	0.061 ± 0.001
0.329	0.088 ± 0.002	0.323	0.081 ± 0.002
0.547	0.128 ± 0.002	0.525	0.115 ± 0.003
0.589	0.129 ± 0.004	0.560	0.121 ± 0.004
0.738	0.213 ± 0.004	0.716	0.153 ± 0.005
0.754	0.224 ± 0.005	0.752	0.199 ± 0.005
0.795	0.253 ± 0.003	0.780	0.221 ± 0.004
0.851	0.293 ± 0.002	0.836	0.272 ± 0.002
T = 40 °C		T = 50 °C	
a_w	X_{eq}	a_w	X_{eq}
0.059	0.044 ± 0.000	0.056	0.036 ± 0.001
0.105	0.048 ± 0.000	0.100	0.041 ± 0.000
0.148	0.053 ± 0.000	0.134	0.046 ± 0.000
0.206	0.059 ± 0.000	0.189	0.051 ± 0.001
0.318	0.078 ± 0.001	0.314	0.064 ± 0.002
0.506	0.098 ± 0.001	0.488	0.093 ± 0.002
0.534	0.105 ± 0.000	0.511	0.088 ± 0.000
0.694	0.152 ± 0.001	0.674	0.126 ± 0.003
0.751	0.184 ± 0.002	0.749	0.162 ± 0.002
0.771	0.196 ± 0.005	0.766	0.174 ± 0.002
0.823	0.246 ± 0.001	0.810	0.205 ± 0.002

Table 3.6: Modeling and statistical analysis of the sorption isotherms of the Almond Flour of the Babassu.

Temperature	GAB model			R^2	MRE(%)
	Xm	C	K		
20 °C	0.067	26.762	0.919	0.987	7.841
30 °C	0.055	50.616	0.954	0.985	6.133
40 °C	0.052	44.456	0.955	0.998	0.541
50 °C	0.048	36.355	0.95	0.997	0.764
Temperature	Henderson model			R^2	MRE(%)
	A	B	C		
20 °C	0.03153	2.26233	1.26271	0.967	17.6
30 °C	0.03767	1.58631	1.31656	0.924	30.8
40 °C	0.04215	1.03388	1.35087	0.939	20.1
50 °C	0.05406	2.16636	1.40988	0.946	12.9
Temperature	Halsey model			R^2	MRE(%)
	A	B	K		
20 °C	1.11014	1.18921	0.06329	0.992	0.045
30 °C	0.94714	1.71839	0.01353	0.986	0.058
40 °C	0.94246	1.70931	0.01236	0.999	0.004
50 °C	0.9469	1.68531	0.01085	0.997	0.007
Temperature	Oswin model			R^2	MRE(%)
	A	B	C		
20°C	0.93373	-0.00277	1.95749	0.987	7.125
30°C	1.52642	-0.00466	1.95626	0.965	14.200
40°C	1.54134	-0.00458	1.97408	0.978	7.261
50°C	0.92249	-0.00256	2.02782	0.980	4.784
Temperature	Iglesias and Chirife model			R^2	MRE(%)
	A	B	C		
20°C	0.00514	0.00014	0.06295	0.952	0.259
30°C	1.54733	-0.00496	0.05554	0.979	0.085
40°C	2.18386	-0.00684	0.05072	0.993	0.025
50°C	2.38056	-0.00725	0.04451	0.989	0.026

Table 3.3 presents the adsorption parameters, including MRE and R^2 values for the models of GAB, Henderson, Oswin, Halsey and Iglesias and Chirife at the four studied temperatures. The models of GAB, Halsey and Iglesias and Chirife presented good adjustments, with lower MRE values to 10% and elevated R^2 .

However, the Halsey model was better since it presented the lower MRE values and higher R^2 values.

For adjust the experimental data of equilibrium moisture in function of the activity of water, Halsey model was selected, what also was appropriated for other foods such as the red pepper (KALEEMULLAH E KAILAPPAN, 2004), pistachio paste (MASKAN E GÖĞÜŞ, 1997), semolina and flour (ERBAŞ *et al.*, 2005) and sweet potato (CHEN, 2002), and the GAB model, widely used for foods. The figures 3.1 and 3.2, respectively, present the experimental sorption isotherm for AF at each studied temperature with its respective adjustments to Halsey and GAB models.

Figure 3.1: Isotherms of the Almond Flour of the Babassu at different temperatures (Halsey).

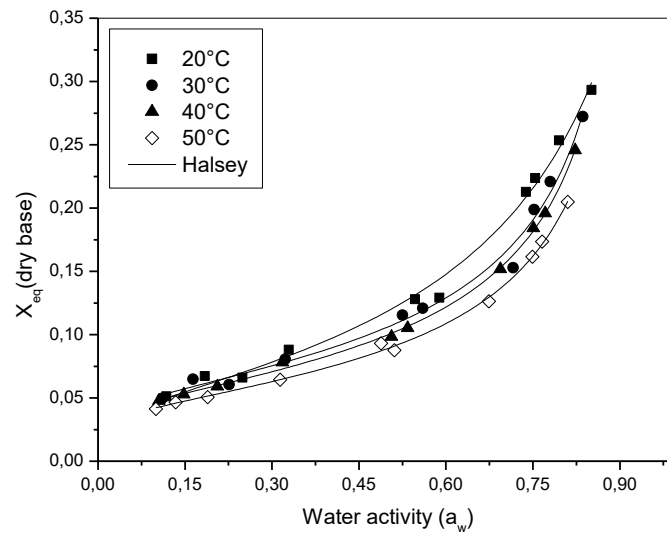
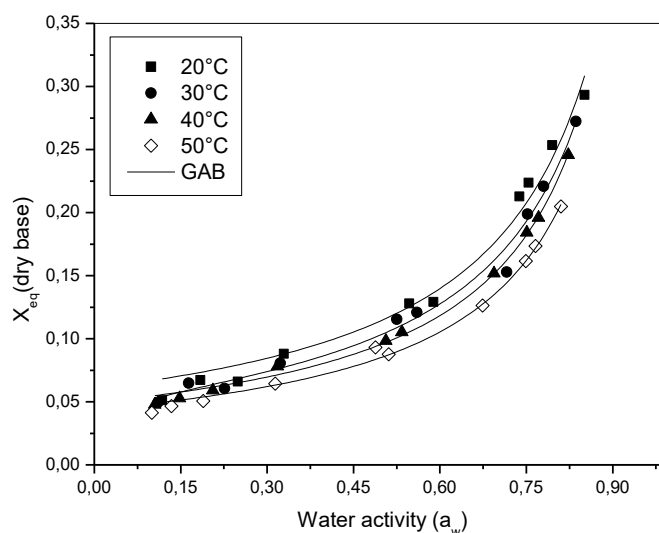


Figure 3.2: Isotherms of the Almond Flour of the Babassu in different temperatures (GAB).



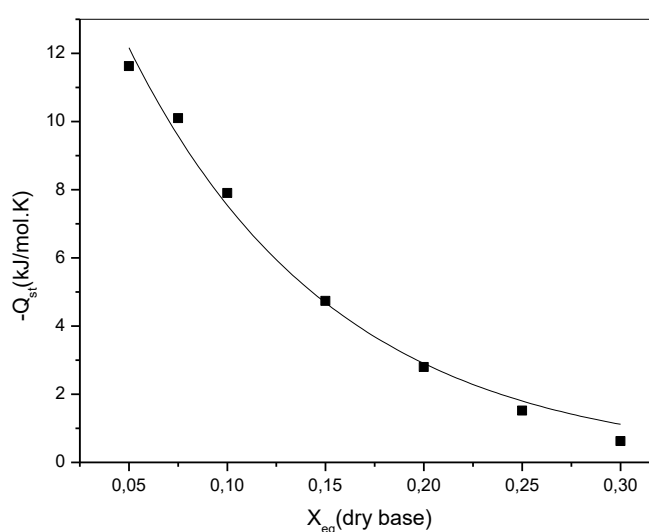
The value of the monolayer moisture (X_m) has a particular interest, as it indicates the quantity of water that is potently adsorbed in the specific sites of the food surface and it is considered as the great value to ensure its stability. For AF, the results present values ranging between 4,8 to 6,7% (dry base) with a tendency to reduce with the temperature increase from 20 to 50 °C. Similar values of X_m were found in studies with passion fruit (CATELAM *et al.*, 2011), blackberry (GIRALDO GÓMEZ *et al.*, 2011), rice and jabuticaba bagasse flours (ASCHERI *et al.*, 2006)

Usually there is a tendency of the content of the equilibrium moisture reduce with the increase of the temperature in continuous activity of water. The magnitude of the reduction depends on the food nature or composition (RIZVI, 1995). This behavior of the AF can be noted.

The dependence of the isosteric heat of sorption of the water (q_{st}) with the moisture content for AF is demonstrated in Figure 3.3. For low moisture values, the values of q_{st} (kJ/mol) are highly negative, what means that the sorption is a spontaneous reaction. According to Tsami (1991), the most negative values of q_{st} indicate a bigger degree of bound water on food surface. For lower moisture contents, the negativity increase on the isosteric heat of sorption must be considered for the calculation of the required energy for the drying process. The

isosteric heat increases as the moisture concentration of AF reduces. This behavior indicates the presence of strong interactions between the water and the AF compounds, once the isosteric heat represents the necessary energy to remove water from the food.

Figure 3.3: Effect of the moisture content on the isosteric heat of sorption of the Almond Flour of the Babassu.



The experimental values of q_{st} adjusted to the Equation (8), from which the constants q_0 and X_0 were obtained. The table 3.4 presents these values, as the correlation coefficient (R^2).

Table 3.7: Estimated Parameters by the equation of Tsami (Eq. 7 e 8).

q_0 (kJ/mol)	X_0 (% dry base)	R^2
19.60	0.241	0.989

The value of the correlation coefficient (R^2) was satisfactory. The value q_0 provides important information about the interactions between the food compounds and the water, because this value simulates the necessary energy to remove the first water molecule of food. (BOQUET *et al.*, 1978).

3.4 CONCLUSIONS

The moisture concentration in equilibrium increased with the reduction of the temperature in constant activity of water. The model which adapt better to the data of the adsorption isotherms of the Almond Flour was the Halsey model, with a determination coefficient of 1.0 approximately. The isosteric heat of sorption (q_{st}) increased as the moisture concentration of the AF reduced, demonstrating strong interactions between the water and the Almond compounds. The data were adjusted using the Tsami model and resulted in a value q_0 of 19.60 kJ/mol and a value X_0 of 0.241 kg/kg (d.b).

3.5 REFERENCES

ANDERSON, R. B. MODIFICATIONS OF THE BRUNAUER, EMMETT AND TELLER EQUATION. **Journal of the American Chemical Society**, v. 68, n. 4, p. 686-691, 1946 1946.

ASCHERI, D. P. R. et al. Efeito da extrusão sobre a adsorção de água de farinhas mistas pré-gelatinizadas de arroz e bagaço de jabuticaba. **Food Science and Technology (Campinas)**, v. 26, p. 325-335, 2006. ISSN 0101-2061. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-20612006000200015&nrm=iso >.

AYALA-APONTE, A. Estimación de las isothermas de adsorción y del calor isostérico en harina de yuca. **Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial**, v. 9, n. 1, p. 88-96, 06 2011.

AYALA-APONTE, A. A. Thermodynamic properties of moisture sorption in cassava flour. **DYNA**, v. 83, p. 138-144, 2016. ISSN 0012-7353. Disponível em: < http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0012-73532016000300018&nrm=iso >.

BOQUET, R.; CHIRIFE, J.; IGLESIAS, H. A. Equations for fitting water sorption isotherms of foods. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 13, n. 4, p. 319-327, 1978. ISSN 1365-2621.

CATELAM, K. T.; TRINDADE, C. S. F.; ROMERO, J. T. Water adsorption isotherms and isosteric sorption heat of spray-dried and freeze-dried dehydrated passion fruit pulp with additives and skimmed milk. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, p. 1196-1203, 2011. ISSN 1413-7054. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-70542011000600021&nrm=iso >.

CHEN, C. PH—Pastharvest Technology: Sorption Isotherms of Sweet Potato Slices. **Biosystems Engineering**, v. 83, n. 1, p. 85-95, 2002/09/01 2002. ISSN

1537-5110. Disponível em: <
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1537511002900930> >.

CHEN, C. C.; MOREY, R. V. COMPARISON OF 4 EMC/ERH EQUATIONS. **Transactions of the Asae**, v. 32, n. 3, p. 983-990, May-Jun 1989.

CHENLO, F. et al. Desorption Isotherms and Net Isosteric Heat of Chestnut Flour and Starch. **Food and Bioprocess Technology**, v. 4, n. 8, p. 1497-1504, Nov 2011.

CHISTE, R. C. et al. Sorption isotherms of tapioca flour. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 47, n. 4, p. 870-874, Apr 2012.

CORRÊA, P. C. et al. Moisture desorption isotherms of cucumber seeds: modeling and thermodynamic properties. **Journal of Seed Science**, v. 37, p. 218-225, 2015. ISSN 2317-1537. Disponível em: <
http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2317-15372015000300218&nrm=iso >.

ERBAŞ, M.; ERTUGAY, M. F.; CERTEL, M. Moisture adsorption behaviour of semolina and farina. **Journal of Food Engineering**, v. 69, n. 2, p. 191-198, 7// 2005. ISSN 0260-8774. Disponível em: <
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877404003656> >.

GABAS, A. L.; MENEGALLI, F. C.; TELIS-ROMERO, J. Water sorption enthalpy-entropy compensation based on isotherms of plum skin and pulp. **Journal of Food Science**, v. 65, n. 4, p. 680-684, May-Jun 2000. ISSN 0022-1147. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:000088460100026 >.

GIRALDO GÓMEZ, G. I. et al. Effect of drying methods on the thermodynamic properties of blackberry pulp powder. **DYNA**, v. 78, p. 139-148, 2011. ISSN 0012-7353. Disponível em: <
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0012-73532011000400017&nrm=iso >.

IBGE. **Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2013.

IGLESIAS, H. A.; CHIRIFE, J. Prediction of the effect of temperature on water sorption isotherms of food material. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 11, n. 2, p. 109-116, 1976.

JOWITT, R. et al. **Physical properties methods of foods**. 2 ed. London: Applied Science Publishers, 1987. 564 p.

KALEEMULLAH, S.; KAILAPPAN, R. Moisture Sorption Isotherms of Red Chillies. **Biosystems Engineering**, v. 88, n. 1, p. 95-104, 5// 2004. ISSN 1537-5110. Disponível em: <
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1537511004000170> >.

LABUZA, T. P. Interpretation of sorption data in relation to the state of constituent water. Water relation of food: proceedings of an International Symposium held in Glasgow, 1974.

LAVOYER, F. C. G. et al. Study of adsorption isotherms of green coconut pulp. **Food Science and Technology (Campinas)**, v. 33, p. 68-74, 2013. ISSN 0101-2061. Disponível em: <
http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-20612013000100011&nrm=iso >.

LOMAURO, C. J.; BAKSHI, A. S.; LABUZA, T. P. Evaluation of Food Moisture Sorption Isotherm Equations .1. Fruit, Vegetable and Meat-Products. **Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie**, v. 18, n. 2, p. 111-117, 1985. ISSN 0023-6438. Disponível em: < <Go to ISI>://WOS:A1985AHG9900008 >.

LOPES, J. F. et al. Sorption isotherms of alligator's meat (Caiman crocodilus yacare). **Journal of Food Engineering**, v. 52, n. 2, p. 201-206, Apr 2002. ISSN 0260-8774. Disponível em: < <Go to ISI>://WOS:000174687100013 >.

MASKAN, M.; GÖĞÜŞ, F. The fitting of various models to water sorption isotherms of pistachio nut paste. **Journal of Food Engineering**, v. 33, n. 3, p. 227-237, 1997/08/01 1997. ISSN 0260-8774. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877497000617> >.

MYHARA, R. et al. Water sorption isotherms of dates: modeling using GAB equation and artificial neural network approaches. **LWT-Food Science and Technology**, v. 31, n. 7-8, p. 699-706, 1998. ISSN 0023-6438.

PENG, G. et al. Modeling of water sorption isotherm for corn starch. **Journal of Food Engineering**, v. 80, n. 2, p. 562-567, 2007. ISSN 0260-8774.

PRETTE, A. P. et al. Thermodynamic properties of water sorption of jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) as a function of moisture content. **Food Science and Technology (Campinas)**, v. 33, p. 199-208, 2013. ISSN 0101-2061. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-20612013000100029&nrm=iso >.

PUMACAHUA-RAMOS, A. et al. Isotherms and isosteric heat of sorption of two varieties of Peruvian quinoa. **Scientia Agropecuaria**, v. 7, p. 409-417, 2016. ISSN 2077-9917. Disponível em: < http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2077-99172016000500006&nrm=iso >.

RAMIREZ-MIRANDA, M. et al. Determination of moisture sorption isotherms and their thermodynamics properties of nixtamalized maize flour. **Revista Mexicana De Ingenieria Quimica**, v. 13, n. 1, p. 165-178, Apr 2014.

RIZVI, S. **Thermodynamic properties of foods in dehydration**. In: Rao MA, Rizvi SSH, Datta AK,(Eds). **Engineering Properties of Foods**. Boca Raton: Taylor & Francis Group: 1-88 p. 2005.

RIZVI, S. S. H. **Engineering Properties of Foods**. In: RAO, M. A. e RIZVI, S. S. H. (Ed.). New York: Academic Press, 1995. cap. 4,

ROCKLAND, L. .; BEUCHAT, L. **Water Activity: Theory and Applications to Food.** . New York: Marcel Dekker, 1987.

SANDOVAL, A. J.; BARREIRO, J. A.; MULLER, A. J. Determination of moisture adsorption isotherms of rice flour using a dynamic vapor sorption technique. **Interciencia**, v. 36, n. 11, p. 848-852, Nov 2011.

SHEKIN, D. J. **Handbook of Parametric and Nonparametric Statistical Procedures.** 5 ed. Boca Raton: CRC, 2011. 1926 p.

TEIXEIRA, M. A. Biomassa de babaçu no Brasil. **Proceedings of the 4th Encontro de Energia no Meio Rural**, 2002.

_____. Babassu—A new approach for an ancient Brazilian biomass. **Biomass and Bioenergy**, v. 32, n. 9, p. 857-864, 9// 2008. ISSN 0961-9534. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953407002401> >.

TSAMI, E. Net isosteric heat of sorption in dried fruits. **Journal of Food Engineering**, v. 14, n. 4, p. 327-335, // 1991. ISSN 0260-8774. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/026087749190022K> >.

TSAMI, E.; MARINOS-KOURIS, D.; MAROULIS, Z. Water sorption isotherms of raisins, currants, figs, prunes and apricots. **Journal of Food Science**, v. 55, n. 6, p. 1594-1597, 1990. ISSN 1750-3841.

CAPITULO 4: CINÉTICA DE SECAGEM DA FARINHA DA AMÊNDOA DO COCO BABAÇU (*Orbignya sp*)



Quebradeira de Coco Babaçu

Imagem: *TVE*

RESUMO

As características da secagem da Farinha da Amêndoa do Coco Babaçu (*Orbignya sp*) em secador de leito fixo, foram estudadas para a faixa de temperatura de 40-70 °C nas velocidades do ar de 0,7, 1,0 e 1,3 m·s⁻¹, utilizando-se modelos semi-teóricos e empíricos. O modelo de Midilli foi o que melhor descreveu as curvas de secagem. Os valores da difusividade efetiva variaram de 1,273x10⁻⁹ a 6,818x10⁻⁹ m²·s⁻¹ para a faixa de temperatura avaliada. Os valores obtidos da difusividade efetiva mostraram dependência de temperatura na forma da equação de Arrhenius, com energia de ativação de 28,265 kJ·mol⁻¹. A entalpia decresce com o aumento da temperatura e foi negativa para faixa de temperatura estudada, comportamento semelhante ao da entropia. A energia livre de Gibbs aumentou com o aumento de temperatura, sendo suas magnitudes positivas na faixa de temperatura utilizada.

Palavras-chave: Farinha; Amêndoa; Babaçu; Secagem; Difusividade

ABSTRACT

The drying characteristics of the almond flour Babassu (*Orbignya* sp) in fixed bed dryer, were studied for the temperature range of 40-70 °C at speeds of 0.7 m·s⁻¹, 1.0 m·s⁻¹ and 1.3 m·s⁻¹, using semi-empirical and theoretical models. The Midilli model was the one that best described the drying curves. The values of effective diffusivity varied from 1,273x10⁻⁹ to 6,818x10⁻⁹ m²·s⁻¹ for the temperature range evaluated. The values of the effective diffusivity showed Arrhenius dependence. The value of the activation energy was found to be 28.265 kJ·mol⁻¹. The enthalpy decreases with increasing temperature and was negative for the studied temperatures, behavior similar to that of entropy. The Gibbs free energy increased with increasing temperature, with its positive magnitude in the temperature range used.

Keywords: Flour; Almond; Babassu; Drying; Diffusivity

4.1 INTRODUÇÃO

O babaçu (*Orbignya sp*) é a palmeira oleaginosa mais importante do extrativismo vegetal brasileiro, e muito adaptada às condições ecológicas da Amazônia oriental e nativa da zona de transição entre o cerrado e as florestas abertas do sul da Amazônia. São os Estados do Maranhão, Piauí, Tocantins e Pará que concentram as maiores extensões de matas onde predominam os babaçus (VAINSENCER, 2008). O coco (fruto) ou coquilho do babaçu é composto por quatro partes principais: Epicarpo, Mesocarpo, Endocarpo e Amêndoas.

A produção de amêndoa do babaçu se concentra no nordeste, de onde vem 99,7% da produção nacional, destacando-se o estado do Maranhão com 94,4% da produção nacional com 84.688 toneladas e R\$ 114,3 milhões em valor de produção (IBGE, 2013).

A amêndoa pode ser consumida *in natura* e também utilizada na produção de um leite bastante nutritivo, muito utilizado na culinária regional principalmente para o preparo de caças e peixes, bem como para extração de óleo. Após a extração do leite obtém-se uma massa muito nutritiva (Farinha da Amêndoa), que muitas vezes é desperdiçada ou utilizada para alimentação de galinhas e porcos.

Para estocagem e comercialização de produtos agrícolas é necessário reduzir a quantidade de água do material e consequentemente sua atividade biológica; a secagem surge, então, como o processo mais utilizado para prolongar sua vida útil, por garantir estabilidade durante a armazenagem (SANTOS *et al.*, 2013).

A secagem de produtos higroscópicos pode ser descrita por modelos teóricos, semiteóricos e empíricos. Nos métodos teóricos normalmente se consideram as condições externas sob as quais a operação ocorre como também os mecanismos internos de transferência de energia e massa e seus efeitos (DE SOUSA *et al.*, 2011). Neste sentido, diversos modelos matemáticos têm sido utilizados para descrever o processo de secagem de produtos agrícolas (CORRÊA *et al.*, 2007).

Brooker *et al.* (1992) relatam que nos modelos teóricos normalmente se consideram as condições externas sob as quais a operação ocorre, como também os mecanismos internos de transferência de energia e massa e seus efeitos.

Dependendo do material que se está secando, a umidade pode movimentar-se no seu interior, por mecanismos diferentes. Em produtos capilares porosos, como a maioria dos produtos de origem agrícola, os possíveis mecanismos de transporte de umidade, são: difusão líquida, difusão capilar, difusão na superfície, fluxo hidrodinâmico, difusão de vapor e difusão térmica (BROOKER *et al.*, 1992).

Os modelos semiteóricos se baseiam na Lei de Newton para resfriamento aplicada à transferência de massa, presumindo-se que as condições sejam isotérmicas e que a resistência à transferência de água se restrinja apenas à superfície do produto (BROOKER *et al.*, 1992). Entre os modelos semiteóricos, destacam-se os modelos de Dois Termos (Henderson, 1974), Henderson e Pabis (HENDERSON E PABIS, 1961) e Page (Page, 1949).

De acordo com Keey (1975) o método empírico consiste em formar grupos físicos adimensionais que podem ser facilmente investigados por experimentos de laboratório e baseia-se nas condições externas, como temperatura, razão da mistura e velocidade do ar de secagem. Dentre esses modelos, destacam-se os de Wang e Singh (1978), logarítmico (AKPINAR E BICER, 2005), Newton (O'CALLAGHAN *et al.*, 1971) e Midilli *et al.* (2002).

Inúmeros trabalhos têm sido realizados com a finalidade de estudar o comportamento de produtos de origem agrícola durante o processo de secagem. Meziane (2011) estudou a cinética de secagem do bagaço de azeitona; Mota *et al.* (2010) utilizaram a secagem convectiva para estudar cebola; Calín-Sanchez *et al.* (2014) estudaram a cinética de secagem de manga e Figiel (2010) estudou a cinética de secagem da beterraba.

Estudos sobre a farinha da amêndoa de babaçu são bastante reduzidos e destinam-se a aplicações em alimentos, como no estudo de Arévalo-Pinedo *et al.* (2013), que usa a FA para na elaboração de barras de cereais. São inexistentes estudos a respeito da cinética de secagem da FA, portanto, objetivou-se neste trabalho estabelecer o modelo matemático que melhor descreve a cinética de secagem da FA, bem como o coeficiente de difusão e a energia de ativação em diferentes condições de ar.

4.2 MÉTODOS

4.2.1 Matéria Prima

As amêndoas de coco babaçu, obtidas na feira do município (Bacabal, MA), foram pesadas e lavadas por imersão em água corrente. Após lavadas as amêndoas foram desintegradas em liquidificador industrial, na proporção de 2 partes de água para 1 parte de amêndoa (v/p), até a obtenção de consistência homogênea, durante aproximadamente 15 minutos. Prensou-se o homogeneizado mecanicamente e passou-se por um pano, obtendo-se como produtos o leite de babaçu e a farinha da amêndoa úmida utilizada para realização dos experimentos.

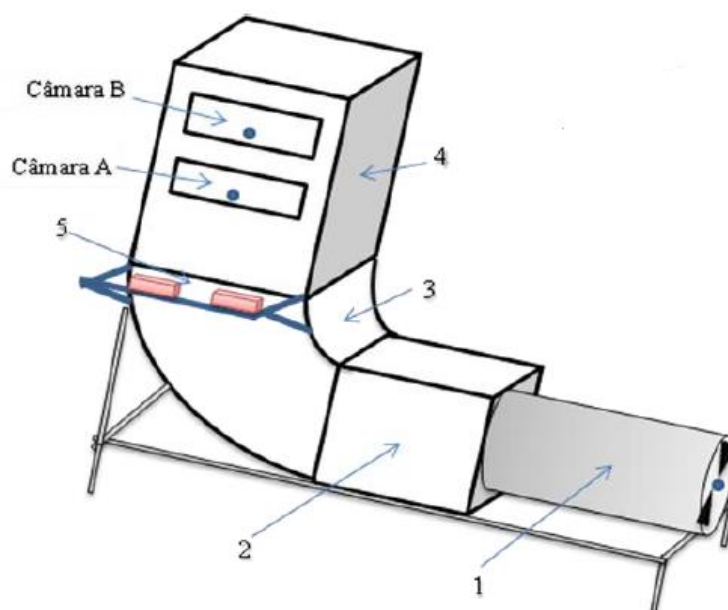
4.2.1 Cinética de secagem

4.2.1.1 Descrição do equipamento

A cinética de secagem foi realizada em secador de convecção forçada de ar quente, disponível na planta de secagem da UNESP (Figura 4.1). O equipamento é composto por cinco módulos interconectados que consistem em:

1. **Sistema de extração e ventilação de ar**, regulado pelo sistema de controle elétrico que define o fluxo de ar.
2. **Sistema de aquecimento de ar**, composto por nove resistências elétricas contidas em uma câmara, que podem ser ligadas e desligadas do controle elétrico para atingir as temperaturas desejadas na secagem.
3. **Duto transportador do ar aquecido**, uniformizado por esferas de vidro.
4. **Duas câmaras de secagem** com 4 bandejas cada de 25 x 25 cm.
5. **Central de controle**, composta pelo regulador de temperatura e entrada de ar no equipamento com nove tomadas que ligam e desligam as resistências e um controle que regula o fluxo de ar do ventilador.

Figura 4.4: Equipamento de Secagem (PRETTE, 2012)



A medição da temperatura foi realizada por meio de dois termopares (Modelo MT-455, Minipa, Brasil) inseridos na cabine de secagem. Para controle da velocidade do ar foi colocado um anemômetro (modelo TAD-500, Instrutherm, Brasil) na entrada do duto próximo ao ventilador e para medir a umidade relativa do ar na saída do secador foi colocado um termo-higrômetro (modelo MTH-1367, Minipa, Brasil) acima das bandejas.

4.2.1.2 Curvas de secagem

As temperaturas de secagem utilizadas foram de 40, 50, 60 e 70 °C $\pm$ 1 °C e as velocidades de 0,7; 1,0 e 1,3 m·s⁻¹ $\pm$ 0,2 m·s⁻¹.

A farinha da amêndoa foi seca em bandejas medindo 19 x 19 cm em delineamento inteiramente casualizado, em três repetições. As amostras foram espalhadas nas bandejas de forma homogênea em quantidade suficiente para uma camada de farinha da amêndoa de 1 cm de espessura. Os dados de peso foram tomados das três bandejas após 2, 4 e 8 minutos e, em seguida, a cada 12 minutos até peso constante empregando uma balança semi-analítica com precisão de $\pm$ 0,01 g. O teor de água foi expresso em quilograma de produto seco (kg·kg⁻¹, b.s.) através da umidade inicial do produto determinada a 105 °C (AOAC, 1997). Os

experimentos foram realizados em triplicata. As razões de teor de água do produto foram determinadas pela expressão:

$$RX = \frac{X - X_e}{X_i - X_e} \quad \text{Eq. 4.1}$$

em que:

X = umidade do produto no tempo t (kg.kg⁻¹, b.s.)

X_i = conteúdo de umidade inicial (kg.kg⁻¹, b.s.)

X_e = conteúdo de umidade de equilíbrio (kg.kg⁻¹, b.s.)

Para construção gráfica das curvas de secagem da FA foram usadas as taxas de secagem (dX/dt, kg.kg⁻¹.s⁻¹, b.s.) versus as umidades (kg.kg⁻¹, b.s.) para cada tempo, nas temperaturas e velocidades propostas.

5.2.1.3 Determinação do Conteúdo de Umidade de Equilíbrio

O conteúdo de umidade de equilíbrio foi determinado com base no equilíbrio termodinâmico do sistema. Quando as amostras atingiram peso constante, foi medida a umidade relativa do sistema. Como a umidade de equilíbrio (X_{eq}) é função da umidade relativa do ar (UR), o seu valor pode ser obtido através das equações de Henderson-Thompson (Eqs. 4.2, 4.3 e 4.4) (CASTIGLIONI *et al.*, 2013).

$$X_{eq} = 0,01(a/b)^{0,409} \quad \text{Eq. 4.2}$$

$$a = -\ln(1 - UR) \quad \text{Eq. 4.3}$$

$$b = 0,000019187(T + 51,161) \quad \text{Eq. 4.4}$$

4.2.1.4 Modelagem da cinética de secagem

Para a análise da cinética de secagem da FA foram utilizados os modelos de camada fina mostrados na Tabela 4.1. Os parâmetros destes modelos empíricos foram determinados pela análise das curvas experimentais de secagem em temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C e velocidades de ar de 0,7; 1,0 e 1,3 m.s⁻¹.

O modelo teórico difusivo para placa plana (Equação 4.5) foi empregado para determinar a difusividade efetiva da água por meio da análise das curvas experimentais de secagem da FA. Para o cálculo da difusividade aparente (D_{ap}),

foram usadas as três primeiras séries da solução analítica dos modelos. Partindo do pressuposto de que a maior difusão da água ocorre no interior e não na superfície externa (considerando os materiais como semipermeáveis), as metades das espessuras foram consideradas para o cálculo do coeficiente de difusão.

$$M = \frac{X - X_e}{X_i - X_e} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp \left[\frac{-(2n+1)^2 \pi^2 D_{ap} t}{4L^2} \right] \quad \text{Eq. 4.5}$$

em que:

D_{ap} = difusividade aparente ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)

L = metade da espessura da amostra (m)

n = número de termos da série

A dependência da difusividade efetiva (D) com a temperatura foi analisada pela equação de Arrhenius:

$$D = D_0 \cdot \exp \left(\frac{-E_a}{R \cdot T_a} \right) \quad \text{Eq. 4.6}$$

em que:

D_0 – constante, $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$

E_a – energia de ativação, $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

R – constante universal dos gases, $8,314 \text{ kJ} \cdot \text{kmol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

T_a – temperatura absoluta, K

Os coeficientes da expressão de Arrhenius foram linearizados com a aplicação do logaritmo conforme a equação:

$$\ln D = \ln D_0 - \frac{E_a}{R} \cdot \frac{1}{T_a} \quad \text{Eq. 4.7}$$

As propriedades termodinâmicas entalpia específica, entropia específica e energia livre de Gibbs, relacionadas ao processo de secagem, foram determinadas de acordo com as equações 4.8, 4.9 e 4.10 (JIDEANI E MPOTOKWANA, 2009).

$$\Delta H = E_a - RT_a \quad \text{Eq. 4.8}$$

$$\Delta S = R \left(\ln D_0 - \ln \frac{k_B}{h_p} - \ln T_a \right) \quad \text{Eq. 4.9}$$

$$\Delta G = \Delta H - T_a \Delta S \quad \text{Eq. 4.10}$$

em que:

ΔH - entalpia específica, $\text{J}\cdot\text{mol}^{-1}$

ΔS - entropia específica, $\text{J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$

ΔG - energia livre de Gibbs, $\text{J}\cdot\text{mol}^{-1}$

k_B - constante de Boltzmann, $1,38 \times 10^{-23} \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}$

h_P - constante de Planck, $6,626 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}^{-1}$

Tabela 4.8: Modelos matemáticos de regressão não-linear, avaliados para prever a secagem da Farinha da Amêndoa do Babaçu.

Modelo	Equação		Referência
Page	$RX = \exp(-kt^n)$	4.11	Page (1949) <i>apud</i> Bruce (1985)
Page modificada	$RX = \exp(-kt) \cdot n$	4.12	Overhults <i>et al.</i> (1973)
Henderson-Pabis	$RX = a \cdot \exp(-kt)$	4.13	Henderson e Pabis (1961)
Henderson-Pabis modificada	$RX = a \cdot \exp(-kt) + b \cdot \exp(-k_1t) + c \cdot \exp(-k_2t)$	4.14	Karathanos (1999)
Peleg	$X = X_i - \frac{t}{k_1 + k_2t}$	4.15	Peleg (1988)
Newton	$RX = \exp(-kt)$	4.16	O'callaghan <i>et al.</i> (1971)
Logarítmico	$RX = a \cdot \exp(-kt) + c$	4.17	Akpınar e Bicer (2005)
Wang e Sing	$RX = 1 + at + bt^2$	4.18	Wang e Singh (1978)
Midilli et al	$RX = a \cdot \exp(-kt^n) + bt$	4.19	Midilli <i>et al.</i> (2002)
Dois termos	$RX = a \cdot \exp(-kt) + b \cdot \exp(-k_1t)$	4.20	Henderson (1974)
Exponencial de dois termos	$RX = a \cdot \exp(-kt) + (1 - a) \cdot \exp(-kat)$	4.21	Toğrul e Pehlivan (2003)
Aproximação da Difusão	$RX = a \cdot \exp(-kt) + (1 - a) \cdot \exp(-kbt)$	4.22	Sharaf-Eldeen <i>et al.</i> (1980)

onde: RX = razão de umidade (adimensional); k , k_1 , k_2 = constantes de velocidade de secagem (s^{-1} , m^{-1} , h^{-1}); n , a , b e c = constantes do modelo

4.2.1.5 Avaliação Estatística

Os parâmetros dos modelos da Tabela 4.1 e do modelo teórico difusivo foram estimados pelo ajuste das equações aos dados experimentais utilizando a função “Nonlinear Curve Fit” do programa *OriginPro 8* (OriginLab Corporation, USA)

O coeficiente de determinação (R^2) (Equação 4.23) e o erro médio relativo (MRE) (Equação 4.24) foram empregados para avaliar a precisão do modelo. O parâmetro estatístico R^2 define a eficiência do modelo com a variação dos dados e o MRE mede o erro padrão na estimativa dos dados simulados com os experimentais (SHESKIN, 2011).

$$R^2 = \frac{\sum_{k=1}^N (y_k^* - \bar{y})^2}{\sum_{k=1}^N (y_k - \bar{y})^2} \quad Eq. 4.23$$

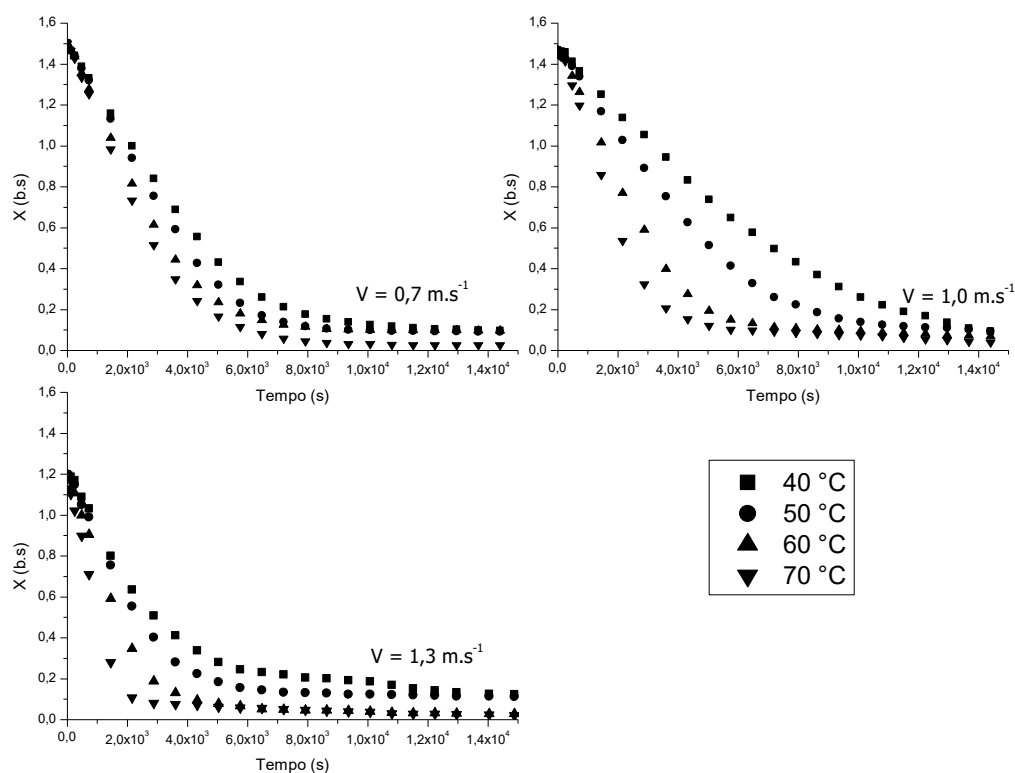
$$MRE = \frac{100}{N} \sum_{k=1}^N \frac{|y_k - y_k^*|}{y_k^*} \quad Eq. 4.24$$

Nas Equações 4.23 e 4.24, y representa os valores experimentais, y^* representa os valores estimados, $\bar{y}$ é a média e N é o número de valores experimentais.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Estudou-se a cinética de secagem da FA, em camada fina, em três velocidades e quatro temperaturas distintas do ar. A Figura 4.2 mostra os gráficos obtidos com dados experimentais dos ensaios realizados. Os dados experimentais são mostrados no Apêndice A.

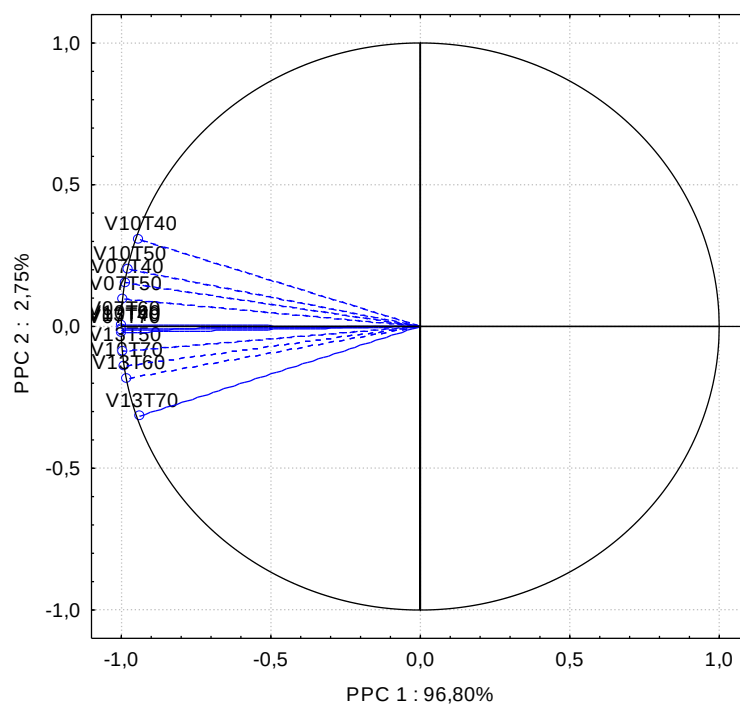
Figura 4.5: Dados de secagem da farinha da amêndoa do coco babaçu a velocidade de 0,7, 1,0 e 1,3 m/s.



Como esperado os experimentos nas temperaturas de 60 e 70 °C forneceram as menores umidades nas secagens (b.s.) no transcorrer do tempo se comparadas às de 40 e 50 °C. Em altas temperaturas ocorre uma maior evaporação de água em consequência da maior troca de calor do ar de secagem para o produto.

A análise das componentes principais dos dados de secagem mostrou a existência de dois componentes principais para o sistema, sendo que a primeira componente principal explica 96,8% da variância, e a segunda componente principal explica 2,75% da variância dos dados. A Figura 4.3 mostra o gráfico de componentes principais para os dados. As amostras foram codificadas para identificar-se a velocidade (V) e a temperatura (T). Em relação à influência exercida pela temperatura, ressaltando-se eficiência de secagem em temperaturas maiores e pouca influência da velocidade.

Figura 4.6: Gráfico da Componente Principal 1 versus Componente Principal 2



4.3.1 Taxa de secagem

As Figuras 4.4, 4.5 e 4.6 mostram que houve um período de secagem constante e bem definido, evidenciado em baixas temperaturas, ocorrendo também o período decrescente. O processo físico de difusão é o provável mecanismo responsável pela movimentação de água na FA.

Figura 4.7: Taxa de secagem decrescente da farinha da amêndoa do babaçu na velocidade de $0,7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

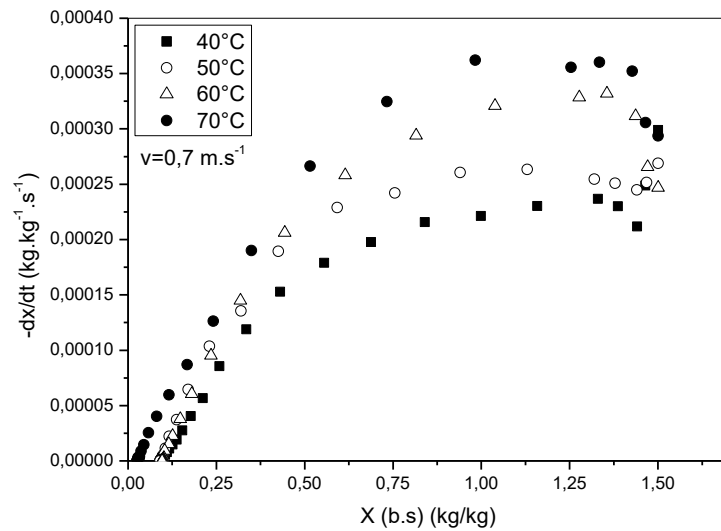


Figura 4.8: Taxa de secagem decrescente da farinha da amêndoa do babaçu na velocidade de $1,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

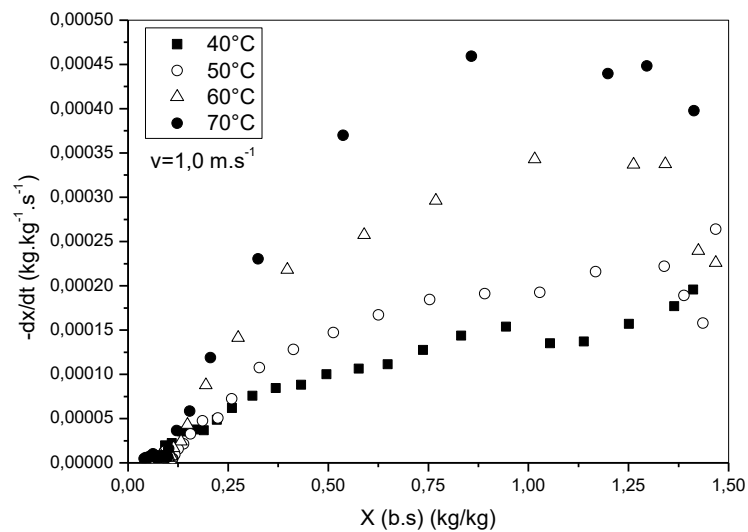
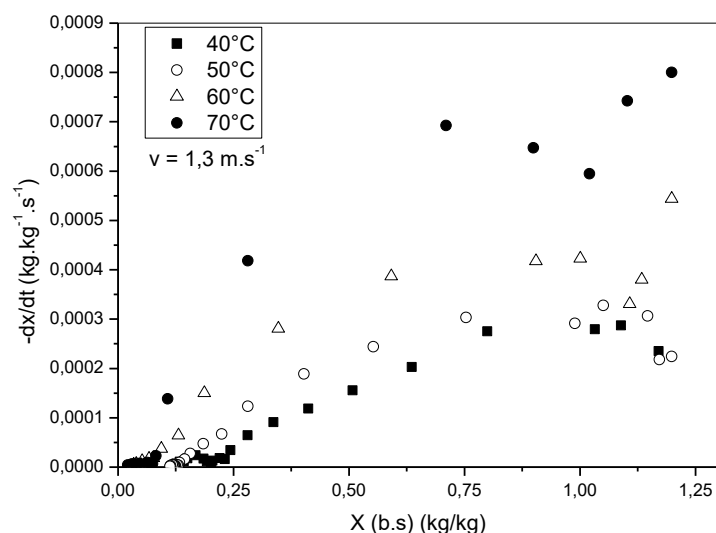


Figura 4.9: Taxa de secagem decrescente da farinha da amêndoa do babaçu na velocidade de $1,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.



4.3.2 Modelagem Matemática

Para a modelagem da cinética de secagem da FA foram empregados os modelos descritos na Tabela 4.1 e os modelos difusivos derivados da solução analítica da segunda lei de Fick para as geometrias de placa plana infinita. Os valores dos parâmetros para cada temperatura e velocidade do ar encontram-se na Tabela 4.2.

Na Tabela 4.3 são apresentados os valores dos coeficientes de correlação (R^2) e os erros médios relativos para cada modelo matemático avaliado. Dentre os 12 modelos avaliados e conforme os resultados obtidos para os coeficientes de correlação ajustados para os erros médios relativos, o modelo de Midilli *et al.* (2002) apresentou o ajuste adequado para descrever o processo de secagem de FA para a faixa de temperatura estudada (desde 40 até 70 °C) em todas as velocidades. Pode-se observar que o MRE para o modelo variou entre 0,04% e 0,8%. Erros médios relativos abaixo de 10% indicam que o modelo é adequado para descrever os dados em questão (AGUERRE *et al.*, 1989; MOHAPATRA E RAO, 2005). Os coeficientes de correlação para o modelo apresentaram valores acima

de 99%, valor significativo para representar o fenômeno de secagem (MADAMBA *et al.*, 1996). Os parâmetros obtidos nas diferentes condições experimentais para o modelo de Midilli *et al.* (2002) são mostrados na Tabela 4.4 e dos demais modelos no Apêndice A.

Tabela 4.9: Dados experimentais empregados na modelagem matemática das curvas de secagem da farinha da amêndoa do babaçu.

Velocidade	T (°C)	UR	a_w	X_e	X_i	L ($\times 10^{-3}$ m)	UA
0,7 m·s ⁻¹	40	30,0	0,300	0,050	1,501	5	60,01
	50	16,7	0,167	0,038	1,501	5	60,01
	60	11,3	0,113	0,031	1,501	5	60,01
	70	8,0	0,080	0,027	1,501	5	60,01
1,0 m·s ⁻¹	40	17,2	0,172	0,038	1,468	5	59,48
	50	17,1	0,171	0,038	1,468	5	59,48
	60	13,7	0,137	0,034	1,468	5	59,48
	70	11,2	0,112	0,031	1,468	5	59,48
1,3 m·s ⁻¹	40	30,4	0,304	0,050	1,199	5	54,52
	50	23,4	0,234	0,044	1,199	5	54,52
	60	15,9	0,159	0,036	1,199	5	54,52
	70	10,2	0,102	0,030	1,199	5	54,52

UR : umidade relativa (%), L : Meia espessura da camada de farinha da amêndoa (m), X_e : umidade de equilíbrio (kg·kg⁻¹, b.s.), X_i : umidade inicial de secagem (kg·kg⁻¹, b.s.), a_w : atividade de água; UA: Umidade inicial da amostra (b.u).

Para o modelo de Midilli *et al.* (2002) o coeficiente de secagem k e a constante n aumentaram com o aumento da temperatura e as constantes a e b não demonstraram comportamento depende da temperatura de secagem. As Figuras 4.7, 4.8 e 4.9 apresentam o ajuste do modelo de Midilli *et al.* (2002) aos resultados experimentais para a secagem da FA em cada temperatura para as 3 velocidades estudadas. O modelo de Midilli *et al.* (2002) também se ajustou bem aos dados de secagem da farinha de urucum em estudo realizado por Santos *et al.* (2013).

Os ajustes aos demais modelos estudados estão colocados no Apêndice B.

Figura 4.10: Modelagem das curvas de secagem da Farinha da Amêndoa do Babaçu empregando o modelo de Midilli et al. (2002) na velocidade de $0,7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

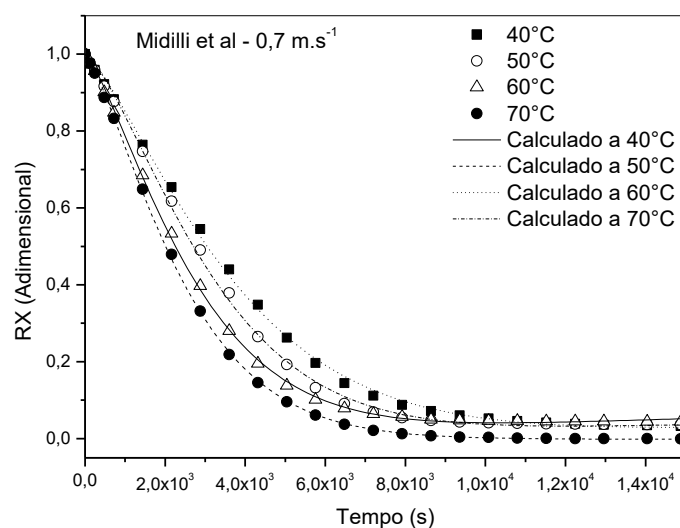


Figura 4.11: Modelagem das curvas de secagem da Farinha da Amêndoa do Babaçu empregando o modelo de Midilli et al. (2002) na velocidade de $1,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

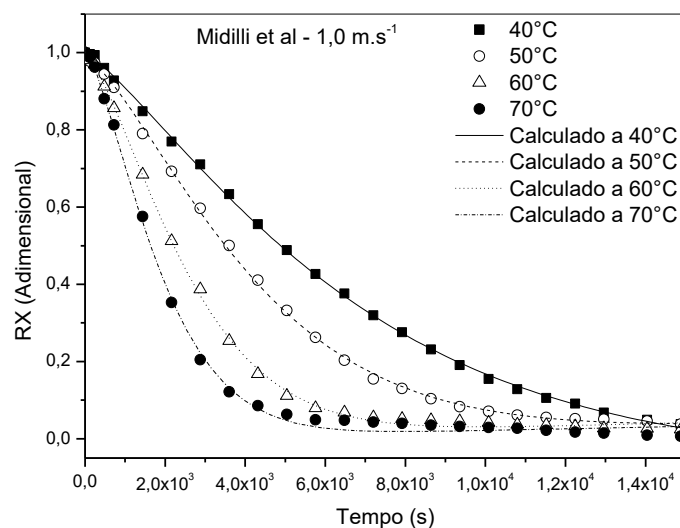
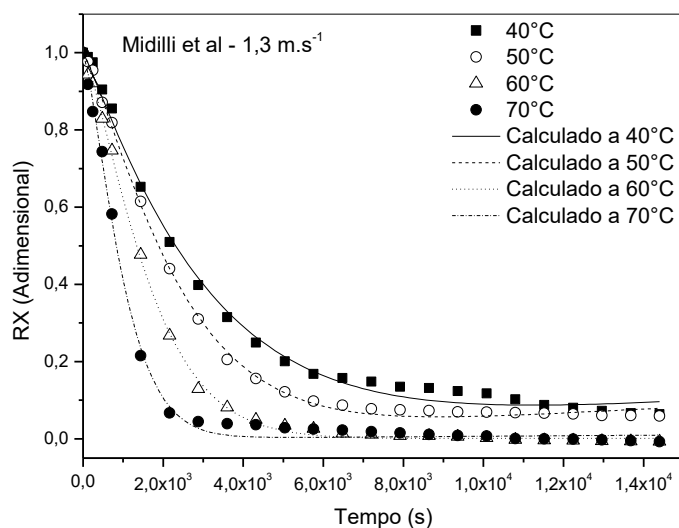


Figura 4.12: Modelagem das curvas de secagem da Farinha da Amêndoa do Babaçu empregando o modelo de Midilli et al. (2002) na velocidade de $1,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.



O mecanismo de transporte da água no interior do produto ocorre por meio de difusão de vapor, por esta razão utilizou-se a Eq. 4.5, baseada na Lei de Fick, para calcular, a partir dos dados experimentais, a difusividade aparente (D_{ap}) para a farinha da amêndoa do babaçu em geometria de placa plana. A Tabela 4.5 mostra os valores calculados para as condições de secagem estudadas.

Tabela 4.10: Valores do coeficiente de correlação (R^2) e do erro médio relativo (MRE), calculados para o ajuste dos modelos matemáticos aos valores experimentais da secagem da Farinha da Amêndoa do Babaçu.

Velocidade	Temperatura	Modelos	R^2	MRE(%)	Modelos	R^2	MRE(%)	Modelos	R^2	MRE(%)	Modelos	R^2	MRE(%)
0,7 m·s ⁻¹	40 °C	Peleg	0,973	17,3	Newton	0,991	2,9	Page	0,998	0,6	Page Modificada	0,993	2,1
	50 °C		0,974	16,3		0,990	3,3		0,997	1,0		0,993	2,2
	60 °C		0,976	16,3		0,989	3,3		0,995	1,4		0,991	2,5
	70 °C		0,982	11,2		0,986	4,3		0,999	0,1		0,989	3,3
1,0 m·s ⁻¹	40 °C		0,995	2,6		0,983	4,8		0,999	0,2		0,987	3,4
	50 °C		0,985	9,3		0,988	3,5		0,998	0,4		0,992	2,5
	60 °C		0,972	17,9		0,989	3,7		0,996	1,1		0,992	2,5
	70 °C		0,966	21,4		0,987	4,0		0,996	1,1		0,992	2,5
1,3 m·s ⁻¹	40 °C		0,985	4,9		0,986	3,8		0,987	3,4		0,985	3,7
	50 °C		0,975	9,2		0,987	3,7		0,987	3,6		0,988	3,3
	60 °C		0,971	11,4		0,992	2,5		0,999	0,3		0,994	1,8
	70 °C		0,963	12,6		0,990	2,7		0,996	0,9		0,991	2,2
0,7 m·s ⁻¹	40 °C	Logarítmica	0,992	2,0	Wang e Sing	0,993	2,0	Henderson-Pabis	0,992	2,5	Henderson-Pabis Modificada	0,993	1,8
	50 °C		0,994	1,7		0,985	4,7		0,989	3,2		0,989	2,8
	60 °C		0,992	2,1		0,962	10,9		0,992	2,2		0,991	2,1
	70 °C		0,989	3,1		0,953	14,7		0,993	2,2		0,995	1,2
1,0 m·s ⁻¹	40 °C		0,998	0,5		0,999	0,3		0,987	3,4		0,998	0,4
	50 °C		0,993	1,9		0,996	0,9		0,992	2,5		0,993	1,7
	60 °C		0,992	2,4		0,955	13,7		0,992	2,5		0,990	2,4
	70 °C		0,992	2,4		0,888	33,7		0,992	2,5		0,989	2,5
1,3 m·s ⁻¹	40 °C		0,997	0,7		0,950	13,0		0,985	3,7		0,996	0,8
	50 °C		0,995	1,3		0,928	19,4		0,988	3,3		0,995	1,1
	60 °C		0,994	1,6		0,855	42,3		0,994	1,8		0,993	1,8
	70 °C		0,991	2,2		0,642	89,9		0,991	2,2		0,989	2,2
0,7 m·s ⁻¹	40 °C	Midilli et al	0,999	0,1	Dois termos	0,991	2,5	Aproximação da difusão	0,989	3,1	Exponencial de dois termos	0,989	3,2
	50 °C		0,999	0,2		0,988	3,3		0,985	4,2		0,986	4,3
	60 °C		0,999	0,09		0,992	2,1		0,991	2,3		0,990	2,9
	70 °C		0,999	0,04		0,992	2,2		0,989	3,0		0,990	3,3

1,0 m·s ⁻¹	40 °C		0,999	0,1		0,986	3,4		0,992	2,1		0,982	4,9
	50 °C		0,999	0,1		0,991	2,5		0,989	3,2		0,988	3,6
	60 °C		0,999	0,2		0,991	2,4		0,989	3,3		0,988	3,7
	70 °C		0,998	0,5		0,991	2,5		0,988	3,5		0,987	4,0
1,3 m·s ⁻¹	40 °C		0,996	0,8		0,997	0,8		0,997	0,8		0,985	3,8
	50 °C		0,999	0,3		0,996	1,0		0,995	1,3		0,986	3,7
	60 °C		0,999	0,2		0,993	1,8		0,991	2,4		0,991	2,5
	70 °C		0,997	0,7		0,990	2,2		0,989	2,6		0,989	2,7

Tabela 4.11: Parâmetros obtidos para o modelo de Midilli *et al.* (2002) ajustados aos dados de secagem da Farinha da Amêndoa do Babaçu.

Velocidade ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	A	k(10^{-5})	N	b(10^{-6})
0,7	40	0,981	1,054	1,379	2,049
	50	0,985	0,778	1,440	2,544
	60	0,993	2,296	1,337	3,516
	70	0,991	2,496	1,342	-0,075
1,0	40	0,999	1,571	1,254	-2,612
	50	0,989	0,960	1,371	2,206
	60	0,995	1,504	1,395	2,777
	70	1,007	2,571	1,381	2,138
1,3	40	1,029	23,415	1,044	6,015
	50	0,995	5,942	1,244	5,532
	60	0,987	4,329	1,341	0,109
	70	0,978	4,945	1,413	0,684

Tabela 4.12: Valores da difusividade aparente (D_{ap}) obtidos para a Farinha da Amêndoa do Babaçu em diferentes temperaturas e velocidades do ar de secagem.

Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Difusividade aparente ($\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$)		
	$V = 0,7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$	$V = 1,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$	$V = 1,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$
40	$2,063 \times 10^{-9}$	$1,273 \times 10^{-9}$	$2,229 \times 10^{-9}$
50	$2,350 \times 10^{-9}$	$1,796 \times 10^{-9}$	$2,932 \times 10^{-9}$
60	$2,672 \times 10^{-9}$	$2,805 \times 10^{-9}$	$4,547 \times 10^{-9}$
70	$3,183 \times 10^{-9}$	$3,685 \times 10^{-9}$	$6,818 \times 10^{-9}$

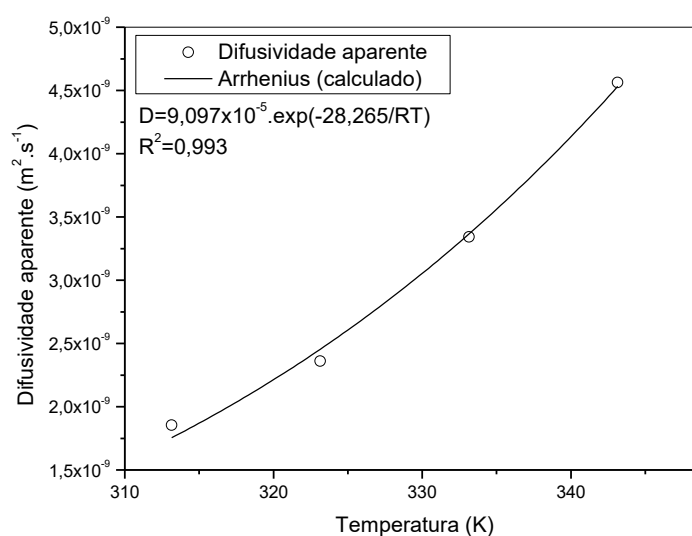
Verificou-se que os valores de difusividade aparente apresentaram magnitudes entre $1,273 \times 10^{-9}$ e $6,818 \times 10^{-9} \text{ m}^2\cdot\text{s}^{-1}$, para a faixa de temperatura de 40 a 70 $^{\circ}\text{C}$. Os valores de D_{ap} para produtos alimentícios se encontram na faixa de 10^{-11} a $10^{-9} \text{ m}^2\cdot\text{s}^{-1}$ (ZOGZAS *et al.*, 1996). Os valores de difusividade aparentes encontrados neste trabalho estão na mesma faixa encontrada para sementes de

junça (TUNDE-AKINTUNDE E OKE, 2012), batata doce em cubos (JOYKUMAR SINGH E PANDEY, 2012) e tomilho (DOYMAZ, 2011).

Com exceção das temperaturas de 40 °C e 50 °C, passando da velocidade de 0,7 m.s⁻¹ para 1,0 m.s⁻¹, os valores da difusividade aparente aumentaram com a elevação da temperatura e da velocidade de secagem, indicando uma maior intensidade do fenômeno de transporte de água do interior para a superfície da FA (SHARMA E PRASAD, 2004).

O coeficiente de difusão aumentou linearmente com a elevação da temperatura do ar de secagem, e a sua influência pode ser descrita por meio da representação linearizada da equação de Arrhenius (Eq. 4.7). A Figura 4.10 apresenta os coeficientes da Equação 4.6 ajustada para o coeficiente de difusão aparente da farinha da amêndoa do babaçu.

Figura 4.13: Coeficientes equação de Arrhenius ajustada para o coeficiente de difusão aparente da Farinha da Amêndoa do Babaçu.



A energia de ativação é definida como a facilidade com que as moléculas de água superam a barreira de energia durante a migração do interior do produto (SOUSA *et al.*, 2011), é uma barreira que deve ser ultrapassada para que o processo de difusão possa ser desencadeado no produto (KASHANINEJAD *et al.*, 2007). A

energia de ativação para a difusão líquida da Farinha da Amêndoa do Babaçu foi de $28,265 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$, valor dentro da faixa descrita por Zogzas *et al.* (1996), que é de 12,7 a $110 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ para produtos de origem agrícola. Valores semelhantes foram encontrados para grãos de girassol (SMANIOTTO *et al.*, 2017), ervilhas (PANTOJA *et al.*, 2016) e feijão-caupi (MORAIS *et al.*, 2013).

Nos processos de secagem, quanto menor a energia de ativação maior será a difusividade de água no produto (REIS *et al.*, 2011). A energia de ativação para a difusão de água na farinha da amêndoa do babaçu foi baixa, sinal de que o produto em estudo apresenta maior facilidade em absorver água (RESENDE *et al.*, 2007).

A Tabela 4.9 mostra as propriedades termodinâmicas calculadas para o processo de secagem da FA. Nota-se que os valores de entalpia diminuem com o incremento dos valores de temperatura, indicando que é necessária uma quantidade menor de energia para que a secagem ocorra em temperaturas mais elevadas (MARTINS *et al.*, 2015). A variação de entropia apresentou comportamento semelhante, ou seja, a entropia reduziu com o aumento da temperatura do ar de secagem, pois a diminuição da temperatura acarreta em menor excitação das moléculas de água resultando em uma diminuição da desordem do sistema água-produto (CORRÊA *et al.*, 2010).

Tabela 4.13: Propriedades termodinâmicas do processo de secagem da farinha da amêndoa do coco babaçu: entalpia específica (ΔH), entropia específica (ΔS) e energia livre de Gibbs (ΔG).

Temperatura (°C)	$\Delta H \text{ (kJ}\cdot\text{mol}^{-1})$	$\Delta S \text{ (kJ}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1})$	$\Delta G \text{ (kJ}\cdot\text{mol}^{-1})$
40	25,661	-0,323	126,708
50	25,578	-0,323	129,936
60	25,495	-0,323	133,166
70	25,412	-0,323	136,399

A energia livre de Gibbs é atribuída ao trabalho necessário para tornar os locais de sorção disponíveis (MEZE'E *et al.*, 2008). Os valores positivos da energia

livre de Gibbs indicam que a secagem da FA não foi um processo espontâneo; esses valores positivos são característicos de uma reação endotérmica, isto é, requerem adição de energia proveniente do meio em que se encontra o produto para que haja a reação (MEZE'E *et al.*, 2008; CORRÊA *et al.*, 2010; MARTINS *et al.*, 2015).

4.4 CONCLUSÕES

- A velocidade do ar de secagem não influenciou na cinética durante a desidratação da FA. Já as curvas de secagem mostraram a influência da temperatura em todos os experimentos.
- As curvas de secagem da FA apresentaram apenas o período de taxa decrescente para todas as temperaturas e velocidades do ar experimentais, indicando que o principal mecanismo de migração da água do interior para a superfície do produto é a difusão.
- O modelo de Midilli *et al* foi o que melhor descreveu o comportamento da cinética de secagem da FA.
- O coeficiente de difusão aparente aumenta com a elevação da temperatura do ar de secagem sendo descrito pela equação de Arrhenius e o processo obteve a energia de ativação de 28,265 kJ·mol⁻¹.

4.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUERRE, R. J.; SUAREZ, C.; VIOLLAZ, P. E. New BET type multilayer sorption isotherms. **Part II: modelling water sorption in foods. Lebensmittel-Wissenschaft und Technol**, v. 22, p. 192-195, 1989.

AKPINAR, E. K.; BICER, Y. Modelling of the drying of eggplants in thin-layers. **International journal of food science & technology**, v. 40, n. 3, p. 273-281, 2005. ISSN 1365-2621.

AOAC. **Official methods of analysis**. 16 ed. Gaithersburg: AOAC International, 1997.

ARÉVALO-PINEDO, A. et al. Desenvolvimento de barra de cereais à base de farinha de amêndoa de babaçu (*Orbygnia speciosa*). **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 15, n. 4, p. 405-411, 2013.

BROOKER, D. B.; BAKKER-ARKEMA, F. W.; HALL, C. W. **Drying and storage of grains and oilseeds**. Springer Science & Business Media, 1992. ISBN 0442205155.

BRUCE, D. Exposed-layer barley drying: three models fitted to new data up to 150 °C. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 32, n. 4, p. 337-348, 1985. ISSN 0021-8634.

CALÍN-SANCHEZ, Á. et al. Drying Kinetics and Energy Consumption in the Dehydration of Pomegranate (*Punica granatum* L.) Arils and Rind. **Food and Bioprocess Technology**, v. 7, n. 7, p. 2071-2083, 2014/07/01 2014. ISSN 1935-5130. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1007/s11947-013-1222-5> >.

CASTIGLIONI, G. L. et al. Modelagem matemática do processo de secagem da massa fibrosa de mandioca. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, p. 987-994, 2013. ISSN 1415-4366. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662013000900012&nrm=iso >.

CORRÊA, P. C. et al. Modelagem matemática e determinação das propriedades termodinâmicas do café (*Coffea arabica* L.) durante o processo de secagem. **Revista Ceres**, v. 57, n. 5, p. 595-601, 2010. ISSN 0034-737X.

CORRÊA, P. C. et al. Modelagem matemática para a descrição do processo de secagem do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) em camadas delgadas. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 2, p. 501-510, 2007.

DE SOUSA, K. A. et al. Cinética de secagem do nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.). **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 4, p. 883-892, 2011. ISSN 1806-6690.

DOYMAZ, I. Drying of thyme (*Thymus vulgaris* L.) and selection of a suitable thin-layer drying model. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 35, n. 4, p. 458-465, Aug 2011. ISSN 0145-8892. Disponível em: < <Go to ISI>://WOS:000292884300010 >.

FIGIEL, A. Drying kinetics and quality of beetroots dehydrated by combination of convective and vacuum-microwave methods. **Journal of Food Engineering**, v. 98, n. 4, p. 461-470, 6// 2010. ISSN 0260-8774. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877410000452> >.

HAYALOGLU, A. A. et al. Mathematical modeling of drying characteristics of strained yoghurt in a convective type tray-dryer. **Journal of Food Engineering**, v. 78, n. 1, p. 109-117, 1// 2007. ISSN 0260-8774. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877405006436> >.

HENDERSON, S. Progress in developing the thin layer drying equation [for maize]. **Transactions of the ASAE (USA)**, v. 17, p. 1167-1168, 1974.

HENDERSON, S.; PABIS, S. Grain drying theory I. Temperature effect on drying coefficient. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 6, n. 3, p. 169-174, 1961.

IBGE. **Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2013.

JIDEANI, V. A.; MPOTOKWANA, S. M. Modeling of water absorption of Botswana bambara varieties using Peleg's equation. **Journal of Food Engineering**, v. 92, n. 2, p. 182-188, 5// 2009. ISSN 0260-8774. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877408005384> >.

JOYKUMAR SINGH, N.; PANDEY, R. K. Convective air drying characteristics of sweet potato cube (*Ipomoea batatas* L.). **Food and Bioproducts Processing**, v. 90, n. 2, p. 317-322, 4// 2012. ISSN 0960-3085. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960308511000563> >.

KARATHANOS, V. T. Determination of water content of dried fruits by drying kinetics. **Journal of Food Engineering**, v. 39, n. 4, p. 337-344, 1999. ISSN 0260-8774.

KASHANINEJAD, M. et al. Thin-layer drying characteristics and modeling of pistachio nuts. **Journal of Food Engineering**, v. 78, n. 1, p. 98-108, 2007. ISSN 0260-8774.

KEEY, R. B. **Drying: principles and practice**. Oxford: Pergamon Press, 1975. 150 p.

MADAMBA, P. S.; DRISCOLL, R. H.; BUCKLE, K. A. The thin-layer drying characteristics of garlic slices. **Journal of food engineering**, v. 29, n. 1, p. 75-97, 1996. ISSN 0260-8774.

MARTINAZZO, A. P. et al. Análise e descrição matemática da cinética de secagem de folhas de capim-limão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 3, p. 301-306, 2007.

MARTINS, E. A. S. et al. Cinética de secagem de folhas de timbó (*Serjania marginata* Casar). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, p. 238-244, 2015. ISSN 1415-4366. Disponível em: <

http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662015000300238&nrm=iso >.

MEZE'E, Y. N.; NGAMVENG, J. N.; BARDET, S. Effect of enthalpy–entropy compensation during sorption of water vapour in tropical woods: The case of Bubinga (*Guibourtia Tessmanii* J. Léonard; *G. Pellegriniana* JL). **Thermochimica acta**, v. 468, n. 1, p. 1-5, 2008. ISSN 0040-6031.

MEZIANE, S. Drying kinetics of olive pomace in a fluidized bed dryer. **Energy Conversion and Management**, v. 52, n. 3, p. 1644-1649, 3// 2011. ISSN 0196-8904. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890410004760> >.

MIDILLI, A.; KUCUK, H.; YAPAR, Z. A new model for single-layer drying. **Drying technology**, v. 20, n. 7, p. 1503-1513, 2002. ISSN 0737-3937.

MOHAPATRA, D.; RAO, P. S. A thin layer drying model of parboiled wheat. **Journal of food engineering**, v. 66, n. 4, p. 513-518, 2005. ISSN 0260-8774.

MORAIS, S. J. D. S. et al. Modelagem matemática das curvas de secagem e coeficiente de difusão de grãos de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, p. 455-463, 2013. ISSN 1806-6690. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-66902013000300006&nrm=iso >.

MOTA, C. L. et al. Convective drying of onion: Kinetics and nutritional evaluation. **Food and Bioproducts Processing**, v. 88, n. 2–3, p. 115-123, 6// 2010. ISSN 0960-3085. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960308509000741> >. Acesso em: 2010/9//.

O'CALLAGHAN, J. R.; MENZIES, D. J.; BAILEY, P. H. Digital simulation of agricultural drier performance. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 16, n. 3, p. 223-244, 1971. ISSN 0021-8634.

OVERHULTS, D. et al. Drying soybeans with heated air. **Amer Soc Agr Eng Trans ASAE**, 1973.

PAGE, G. E. **Factors Influencing the Maximum Rates of Air Drying Shelled Corn in Thin layers**. 1949. (M. Sc. Thesis). Purdue University

PANTOJA, D. C. et al. Procesamiento de Arvejas (*Pisum sativum* L.). Parte 1: Modelado de la Cinética de Secado por Capa Delgada de Arveja, Variedades Obonuco Andina y Sureña. **Información tecnológica**, v. 27, p. 69-80, 2016. ISSN 0718-0764. Disponível em: < http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642016000100009&nrm=iso >.

PELEG, M. An Empirical Model for the Description of Moisture Sorption Curves. **Journal of Food Science**, v. 53, n. 4, p. 1216-1217, 1988. ISSN 1750-3841. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2621.1988.tb13565.x> >.

PRETTE, A. P. **Aproveitamento de polpa e resíduos de jaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) através de secagem convectiva**. 2012. 161 p. (Doutorado). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

REIS, R. C. et al. Modelagem matemática da secagem da pimenta Cumari do Pará. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 4, p. 347-353, 2011.

RESENDE, O. et al. Bean moisture diffusivity and drying kinetics: a comparison of the liquid diffusion model when taking into account and neglecting grain shrinkage. **Spanish Journal of Agricultural Research**, v. 5, n. 1, p. 51-58, 2007. ISSN 2171-9292.

SANTOS, D. D. C. et al. Cinética de secagem de farinha de grãos residuais de urucum. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 2, p. 223-231, 2013.

SHARAF-ELDEEN, Y.; BLAISDELL, J.; HAMDY, M. A model for ear-corn drying. **Transactions of the ASAE**, v. 23, n. 5, p. 1261-1265, 1271, 1980. ISSN 0001-2351.

SHARMA, G. P.; PRASAD, S. Effective moisture diffusivity of garlic cloves undergoing microwave-convective drying. **Journal of Food Engineering**, v. 65, n. 4, p. 609-617, 2004.

SHESKIN, D. J. **Handbook of Parametric and Nonparametric Statistical Procedures**. 5 ed. Boca Raton: CRC, 2011. 1926 p.

SMANIOTTO, T. A. D. S. et al. Drying kinetics of sunflower grains. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, p. 203-208, 2017. ISSN 1415-4366. Disponível em: <
http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662017000300203&nrm=iso>.

SOUSA, K. A. D. et al. The drying kinetics of forage turnips (*Raphanus sativus* L.). **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 4, p. 883-892, 2011. ISSN 1806-6690.

TOĞRUL, İ. T.; PEHLIVAN, D. Modelling of drying kinetics of single apricot. **Journal of Food Engineering**, v. 58, n. 1, p. 23-32, 2003. ISSN 0260-8774.

TUNDE-AKINTUNDE, T. Y.; OKE, M. O. Thin-layer drying characteristics of tiger nut (*Cyperus esculentus*) seeds. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 36, n. 5, p. 457-464, Oct 2012. ISSN 0145-8892. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:000309453300010 >.

VAINSENCER, S. A. Babaçu. 2008. Disponível em: <
http://basilio.fundaj.gov.br/pesquisaescolar/index.php?option=com_content&view=article&id=502:babacu&catid=37:letra-b&Itemid=1>. Acesso em: 18 de agosto de 2015.

WANG, C.; SINGH, R. Use of variable equilibrium moisture content in modeling rice drying. **Transactions of American Society of Agricultural Engineers**, v. 11, n. 6, p. 668-672, 1978.

ZOGZAS, N. P.; MAUROULIS, Z. B.; MARINOS-KOURIS, D. Moisture diffusivity data compilation in foodstuffs. **Drying Technology**, v. 14, n. 10, p. 2225-2253, 1996.

**CHAPTER 5: BISCUITS OF THE TYPE
COOKIE WITH PARTIAL
REPLACEMENT OF THE WHEAT
FLOUR FOR THE ALMOND FLOUR
OF THE BABASSU COCONUT
(*Orbignya sp*)**



Farinha do Mesocarpo do Babaçu

Foto: Alfredo Franco / Camila Fontana

RESUMO

A cadeia produtiva do babaçu é uma das mais representativas do extrativismo vegetal no Brasil, em razão da área de abrangência da palmeira babaçu e atividades econômicas que podem ser desenvolvidas a partir dela, de sua importância para famílias que sobrevivem da agricultura de subsistência associada à sua exploração, e da forte mobilização social e política em favor do acesso livre aos babaçuais. Visando explorar o potencial tecnológico da Farinha da Amêndoa do coco babaçu (FA), elaborou-se cookies com diferentes percentuais da FA em sua formulação. Realizou-se as análises microbiológicas, físicas e físico-químicas das amostras do tipo padrão (sem FA) e com substituição de 10, 20 e 30% da farinha de trigo pela FA. A análise sensorial foi avaliada por meio de um teste de aceitabilidade quanto aos atributos sensoriais e intenção de compra. Diante do proposto, as análises microbiológicas estão de acordo com o exigido na legislação, as propriedades físicas da FA não interferiram em relação a amostra padrão, as características físico-químicas demonstraram umidade menor para cookies com 30% de FA, as cinzas e proteínas não tiveram diferença significativa e a quantidade de lipídios nas amostras com 20 e 30% foram maiores, consequentemente valores inferiores de carboidratos. Os resultados obtidos indicam sua viabilidade da utilização de FA na produção de cookies visto que sua utilização não prejudica na aceitação e intenção de compra dos consumidores.

Palavras-Chave: Babaçu; Farinha da Amêndoa; Cookie; Tecnologia Social; Maranhão

ABSTRACT

The productive chain of the babassu is one of the most representative of the vegetal extractivism in Brazil due to the territorial extension of the babassu palm tree and economical activities which can be developed from it, its importance for families that survive from the subsistence farming associated to its exploration, and the strong social and political mobilization in favor of the free access to babassu forests. Aiming to explore the technological potential of the Almond Flour (AF) of the babassu coconut, cookies were made with different percentages of AF in their elaboration. The microbiological, physical and physicochemical analyses of the samples of standard type (without AF) were performed and with the replacement of 10, 20 and 30% of the wheat flour by the AF. The sensory analysis was evaluated by an acceptability test in respect of the sensory attributes and purchase intention. Face of the proposed, the microbiological analyses are according to the required in law, the physical properties of the AF did not differentiate from the standard sample, the physicochemical features demonstrated a lower moisture for cookies with 30% of AF, the ashes and proteins do not have considerable difference and the content of lipids in the samples with 20 and 30% were higher, consequently, low values of carbohydrates. The results obtained indicate its viability on the use of AF in the cookies production, once its use doesn't prejudice on the acceptation and purchase intention of customers.

Keywords: Babassu; Almond Flour; Cookie; Social Technology; Maranhão

5.1 INTRODUCTION

The babassu palm tree has a big diversity of use at the communities and involves building (rooves, walls, etc.), handcraft (bag, basket, broom, etc.), fuel (coal), handmade medicine (mycoses treatment, wound healing, etc.) and animal and human feed (RUFINO *et al.*, 2008). The almond of the babassu can have its oil extracted and used at the cosmetics and food industry. The milk also can be extracted from the almond and used in food preparation. It is a handcraft product and must be used soon after its preparation. The remained dough of the milk straining is much nutritive (CARRAZZA *et al.*, 2012). Maranhão State concentrates 94,5% of the national volume of the almond of the babassu extraction. (IBGE, 2013).

Although the cookies do not represent a staple food such as the bread, they are accepted and consumed by people of all ages (FASOLIN *et al.*, 2007). For children and teenagers, this type of product predominates in their food consumption (SOUZA *et al.*, 2013). On the whole, cookies have a long shelf life what allow their production in a big quantity and distribution in large scale. A product with these qualities, presents itself as a good vehicle for the study of mixed flour by economic reasons or by elevating the nutritive value (TSEN, 1976; JAMES *et al.*, 1989)

One of the alternatives to elevate the nutritive value of some food is the production of new food with more accessible ingredients to classes economically less favored (VORAGEN, 1998). Many studies have been performed replacing part of the wheat flour by other sources of vegetable origin in order to improve the nutritive value of cookies such as the addition of seriguela residue flour (ALBUQUERQUE *et al.*, 2016), guava peel flour (BERTAGNOLLI *et al.*, 2014), grape bagasse flour (PIOVESANA *et al.*, 2013; KARNOPP *et al.*, 2015), jabuticaba peel flour (ZAGO *et al.*, 2015), quinoa flour (BICK *et al.*, 2014), defatted sesame flour (CLERICI *et al.*, 2013), soya and rice flour (MARIANI *et al.*, 2015), among other sources.

All babassu is produced by the extremely poor population of Amazonian region because of the lack of other opportunities. They extract the seeds of the

woody fruit, a painful task. The seeds are sent to factories for the oil extraction or they are transformed in oil by homemade way for the Family consumption (CLEMENT *et al.*, 2005). A Brazilian coconut breaker extracts about 5 kg of almonds in a working day. The almond which is not sold is used in milk and oil production for domestic consumption and all resulting dough of this process is thrown away or well used in animal feed.

The babassu is a rich source of resources and presents an elevated potential for aggregation of value to its sub products but it has the lack of governmental incentive. The realization of specific studies for the sub products, mainly food application, can open spaces for the appreciation and industrialization of babassu derivatives, generating income and development of social technology.

The current study had as objective the production of cookies using the almond flour of the babassu coconut in their elaboration and determining their physical, physicochemical and microbiological features, besides to the realization of sensory evaluation estimating their technological and trade potential.

5.2 MATERIALS AND METHODS

5.2.1 Obtaining the almond flour of the babassu coconut (AF)

The almonds of the babassu coconut obtained at the street market in Bacabal town, Maranhão, were washed by immersion in running water and blanched with water at 80 °C, by 10 minutes in bain-marie. After blanching, the almonds were disintegrated in industrial blender mixing them with water at 80 °C, on the proportion of 2 parts of water for 1 part of almond (v/p), until obtaining a homogeneous consistency during 15 minutes. The homogenized was mechanically pressed and sieved obtaining the babassu milk and the moist almond flour of the babassu as products (FA).

The moist flour was dried in greenhouse during 24 hours at 60 °C, later it was milled and homogenized in analytical mill obtaining the dry almond flour of the babassu coconut (AF).

5.2.2 Preparation of Cookies

According to 10–50D method of the American Association of Cereal Chemists (AACC, 1983), the cookies were produced with the standard elaboration (without AF) and with partial replacement of the wheat flour for the almond flour of the babassu coconut (AF) on the proportion of 10, 20 and 30%, according to Table 5.1.

Tabela 5.14: Elaboration of the standard cookies and with partial replacement of the wheat flour for the almond flour of the babassu coconut (AF)

	Pattern	10%	20%	30%
Wheat flour (g)	225	202,5	180	157,5
Almond Flour (g)	0	22,5	45	67,5
Refined sugar (g)	130	130	130	130
Vegetable fat (g)	64	64	64	64
Dextrose Solution (mL)	33	33	33	33
Distilled water (mL)	16	16	16	16
Sodium bicarbonate (g)	2.5	2.5	2.5	2.5
Salt (g)	2.1	2.1	2.1	2.1

The fat, sugar, salt and sodium bicarbonate were beat in low speed for 3 minutes, rasping below after each minute. The dextrose solution and the distilled water were added (8,9 g in 150 ml of distilled water). They were mixed for 1 minute in low speed, rasped and mixed for 1 minute in middle speed. The wheat flour was added with the partial replacement for the almond flour and mixed for 2 minutes in low speed, rasping for each 30 seconds. The dough was slightly flattened with the palm of the hand and with the rolling pin to get appropriated size and thickness. The dough was cut in small and consistent pieces. The cookies were baked at 204 °C during 10 minutes in a oven and removed from the cake tin with a spatula and put on absorbent paper. The cookies were stored in hermetically sealed container.

5.2.3 Physical Properties

The analyses were made according to the procedures described in the 10–50D method of the American Association of Cereal Chemists (AACC, 2000). The diameter and the thickness of the cookies were measured with pachymeter and the weighing was made in analytical balance. The yield was calculated based on the weight of the raw cookie and the weight of the baked cookie, in percentage. These analyses were made in random samples formed of cookies derived of the same batch.

5.2.4 Physicochemical Analysis

The physicochemical characterization of the cookies was defined by the following procedures: humidity in an incubator at 105 °C until constant weight, ashes by incineration at 550 °C, lipids by the direct extraction method in Soxhlet, according to methodologies proposed by Adolfo Lutz Institute (LUTZ, 2008). The total nitrogen was defined by the Kjeldahl method and converted in gross protein by the factor 6,25, carbohydrate defined by the difference of 100 subtracted by the percentage sum of the analysis of humidity, ashes, proteins and lipids according to the methodology of the Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 1997). The analyses were conducted with three repetitions and the reagents used were of analytical grade. The energetic value was calculated by using the conversion factors of Atwater: carbohydrates 4 kcal g⁻¹, proteins 4 kcal g⁻¹ and lipids 9 kcal g⁻¹ (MENDEZ *et al.*, 1995).

5.2.5 Microbiological Analysis

The microbiological quality of the cookies was analyzed in terms of the total of coagulase positive *Salmonella spp* (ANDREWS *et al.*, 2001), *coliforms* at 35 and 45 °C (AOAC, 2002) and *Staphylococcus* (SILVA *et al.*, 2001).

5.2.6 Sensory Analysis

The sensory analysis of the cookies elaborated with the different percentages of AF was realized at the Laboratory of Food Technology of the Federal Institute of Education, Science and Technology of Maranhão (IFMA). 110 untrained judges were recruited, with ages between 15 and 45 years old, male and female, including students, teachers and employees. The evaluators reported how they like or dislike each elaboration using structured hedonic scale of nine points ranging from “I like it very much” (maximum score) to “I dislike it very much” (minimum score). The evaluated attributes were: aroma, appearance, taste, texture and worldwide acceptance. To evaluate the purchase intention, a scale was used ranging from (5) certainly would buy to (1) certainly would not buy.

This research had its project evaluated and approved by the National Committee of Ethics in Research (CONEP), via Brazil Platform (CAAE: 31497914.1.0000.5084, View N°: 766.715)

5.2.7 Statistical Analysis

The results of the microbiological, physical, physicochemical and sensory analyses of the cookies were organized in spreadsheets of the software *Microsoft Office Excel 2013*, where they were distributed according to the objectives. To compare the averages, the data were submitted to Variance Analysis (ANOVA) and Tukey test with level of significance for rejection of the nullity hypothesis , $p < 5\%$, using the software *OriginPro 8*.

5.3 RESULTS AND DISCUSSIONS

5.3.1 Physical characterization of the cookies

The cookies prepared with different concentrations of almond flour of the babassu are represented in Figure 5.1.

The diameter expansion of the raw cookie to the baked cookie of the samples did not differ in a level of 5% of significance by Tukey test. According to Bick *et al.* (2014), it is not expected a diameter bigger than the original after the baking, because this would result in reduction of the cut shape. However, the

cookies did not present a considerable increase. The maximum value observed was 16.65% of expansion of the baked diameter in relation to the raw diameter. The values are expressed in Table 5.2. Feddern *et al.* (2011) observed an maximum expansion of 7,86% in the diameter of the cookies prepared with rice and wheat bran. Bick *et al.* (2014) presented an expansion until 9.5% of the cookies prepared with quinoa flour. According to Fasolin *et al.* (2007), it is suggested that a lower hygroscopicity in flour can be one of reasons of the bigger diameter in cookie.

Figure 5.14: Standard Cookies (Without AF) and with partial replacement of wheat flour for the almond flour of the babassu coconut (AF) on the proportion of 10, 20 and 30 %.



Table 5.15: Physical properties of the standard cookies and with partial replacement of the wheat flour for the almond flour of the babassu coconut (AF). The same letters in the same line indicate there is not considerable difference with each other by Tukey test with 5% of probability. Average $\pm$ Standard deviation of the samples.

	Pattern	10%	20%	30%
Diameter Expansion (%)	14.91 ^a $\pm$ 1.54	16.65 ^a $\pm$ 0.94	16.30 ^a $\pm$ 0.55	15.80 ^a $\pm$ 1.31
Thickness Expansion (%)	15.87 ^a $\pm$ 1.37	15.08 ^a $\pm$ 1.37	15.08 ^a $\pm$ 1.37	15.87 ^a $\pm$ 1.37
Weight loss (%)	10.02 ^a $\pm$ 1.89	9.22 ^a $\pm$ 0.26	10.48 ^a $\pm$ 1.24	9.37 ^a $\pm$ 1.30

The thickness expansion of the cookies with AF did not differ significantly in a level of 5% of the standard cookies. The maximum value obtained was 15.87% of increase on the expansion of the raw rough in comparison with the rough after baked. According to Ferreira *et al.* (2009), cookies with expansion factor much high or much low cause problems in industry resulting in products with small or very big size. Fasolin *et al.* (2007) on the study about green banana flour, the prepared cookies presented an average increase of 58.65% of thickness of the raw dough in relation with the dough after baked.

The cookies with AF demonstrated similar income with the standard sample in relation to the weight of the raw dough and the baked dough. They do not differ each other in a level of 5% of significance. The cookies had a reduction of 9.22 to 10.48% of the weight after baked. Feddern *et al.* (2011) obtained values ranging from 13.92 to 19.62% of the weight loss for cookies prepared with rice and wheat bran. Fasolin *et al.* (2007) on the study about cookies prepared with green banana flour presented reduction of 18.05% in relation to the weight after baked. Bick *et al.* (2014) when evaluated cookies produced with quinoa flour demonstrated reduction of 12% of the weight of the raw dough after baked.

5.3.2 Physicochemical characterization of the cookies

The chemical composition of the cookies is demonstrated in Table 5.3.

The moisture content of the sample with 30% of AF was the only one that differed in a level of 5% of significance according to Tukey test. The cookies with 30% of AF obtained lower values of moisture, average of 6.06%. The moisture in food can affect the type of package, the storage form and the conditions of processing, once this feature is related with the proliferation of deteriorated microorganisms. The reduction of water in food can reduce the probability of the development of inherent microorganisms (CUTTER, 2002; MONTES *et al.*, 2015). Mariani *et al.* (2015) found the value of 7.96% in cookies produced with soya and rice flour.

Table 5.16: Chemical composition of the standard cookies and with partial replacement of the wheat flour for the almond flour of the babassu coconut (AF). The same letters on the same line indicate there is not considerable difference each other by Tukey test with 5% of probability. Average $\pm$ Standard deviation of the samples.

	Control	10%	20%	30%
Moisture (%)	6.20 ^a $\pm$ 0.04	6.19 ^a $\pm$ 0.05	6.22 ^a $\pm$ 0.02	6.06 ^b $\pm$ 0.07
Ash (%)	0.92 ^a $\pm$ 0.08	0.87 ^a $\pm$ 0.03	0.92 ^a $\pm$ 0.01	0.99 ^a $\pm$ 0.05
Lipid (%)	14.14 ^a $\pm$ 0.36	15.21 ^a $\pm$ 0.85	16.95 ^b $\pm$ 0.56	17.67 ^b $\pm$ 0.05
Protein (%)	5.23 ^a $\pm$ 0.29	5.08 ^a $\pm$ 0.36	4.88 ^a $\pm$ 0.12	5.42 ^a $\pm$ 0.22
Carbohydrate (%)	73.51 ^a $\pm$ 0.12	72.65 ^{ab} $\pm$ 1.19	71.04 ^{bc} $\pm$ 0.55	69.86 ^c $\pm$ 0.28
Calories (kcal/100g)	442.24 ^a $\pm$ 2.03	447.81 ^a $\pm$ 3.99	456.21 ^b $\pm$ 2.87	460.14 ^b $\pm$ 0.62

About the ashes content, it is possible to observe that the samples did not differ significantly each other, indicating that the replacement for the AF does not prejudice on this feature. The results ranged from 0.87 to 0.99%. The ashes composition corresponds to the quantity of mineral substances contained in food.

Montes *et al.* (2015) when they analyzed cookies prepared with tapioca and rice flour, found values of 0.77 to 0.83%. Bertagnolli *et al.* (2014) found values of 3.3 to 11.1% for the cookies elaborated with guava peel flour.

The quantity of lipids increased according to the addition of AF, what suggests that the AF has a more considerable quantity of fat in comparison with the wheat flour. The standard samples with 10% of AF did not differ significantly in a level of 5%, ranging of 14.14 to 15.21% of lipids. The samples with 20 and 30% of AF did not differ each other. The average found was 16.95 and 17.67%, respectively, but they differed in relation to the standard samples and with 10% of AF. Leite *et al.* (2013) found values of 17.16 to 19.36% for coconut cookie with tempeh flour. Mariani *et al.* (2015) found in standard cookies and with rice bran, rice and soya flour values between 17.47 to 22.13%. Vieira *et al.* (2015) on the study of gluten-free cookies found results of 24.84 to 29.93% of lipids.

The determination of proteins revealed that the samples of standard cookie and with AF did not differ in a level of 5% of significance. The values obtained ranged from 4.88 to 5.42%. Lima *et al.* (2015) when they evaluated cookies with watermelon entre peel flour obtained similar results ranging from 4 to 5.2%.

The quantity of carbohydrates reduced according to AF increase in the formulations. The standard sample (73.51%) did not differ significantly from the sample with 10% of AF (72.65%). The sample with 10% of AF did not differ from the sample with 20% of AF (71.04%). The sample with 20% of AF differed from the standard sample and there was not considerable difference for the sample with 30% of AF (69.86%). The sample with 30% differed significantly from the standard sample and with 10% of AF. Mariani *et al.* (2015) found 65.16% for the standard cookie and the quantity reduced according to the replacement for rice bran and soya and rice flour.

In relation to the energetic value of the cookies, the standard sample (442.24 kcal) did not differ from the sample with 10% and both differed from the samples with 20% (456.21 kcal) and 30%, but the samples with 20 and 30% did not differ each other in a level of 5% of significance. It is important to point out that the energetic value increased according to the quantity of AF used. Santos *et*

al. (2011) found similar values for cookies with orange albedo flour and sour flour. The results ranged from 447.3 to 455.6 kcal.

5.3.3 Microbiological Evaluation

The results of the microbiological analyses are expressed in Table 5.4. The RDC N° 12 (BRAZIL, 2001), requires absence of *Salmonella spp* in 25 g of sample. The maximum permitted of Coliforms at 45 °C (NMP g⁻¹) is 10² and for coagulase positive *Staphylococcus* is 10³. According to the evaluations, the presence of contamination was not indicated for the microorganisms searched, where all samples are inside the legal standard required. Thus, all formulations were able for consumption.

Table 5.17: Microbiological evaluation of the standard cookies and with partial replacement of the wheat flour for the almond flour of the babassu coconut (AF).

**Salmonella spp* – absence in 25 g of sample.

	Pattern	10%	20%	30%
<i>Salmonella spp</i> *	Absent	Absent	Absent	Absent
Coliforms at 45 °C (NMP g ⁻¹)	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3
Coag. positive <i>Staphylococcus</i>	< 10	< 10	< 10	< 10

**Salmonella spp* – ausência em 25 g de amostra.

5.3.4 Sensory Analysis

The average of the results in the sensory analysis did not differ each other by Tukey test in a level of 5% of significance for the sensory attributes and for the purchase intention of the standard cookies (without AF) and with partial replacement of the wheat flour for AF, described in Table 5.5.

Table 5.18: Sensory analysis of the standard cookies and with partial replacement of the wheat flour for the almond flour of the babassu coconut (AF). The same letters in the same line indicate there is not considerable difference each other by Tukey test with 5% of probability. Average $\pm$ Standard deviation of the samples.

	Pattern	10%	20%	30%
Odor	6.98 ^a $\pm$ 1.59	6.84 ^a $\pm$ 1.54	7.19 ^a $\pm$ 1.54	7.05 ^a $\pm$ 1.51
Appearance	6.95 ^a $\pm$ 1.62	6.94 ^a $\pm$ 1.53	6.98 ^a $\pm$ 1.57	6.86 ^a $\pm$ 1.61
Flavor	7.40 ^a $\pm$ 1.39	7.34 ^a $\pm$ 1.44	7.52 ^a $\pm$ 1.65	7.35 ^a $\pm$ 1.57
Texture	6.92 ^a $\pm$ 1.54	7.05 ^a $\pm$ 1.38	7.13 ^a $\pm$ 1.50	7.11 ^a $\pm$ 1.51
Global Acceptance	7.34 ^a $\pm$ 1.40	7.41 ^a $\pm$ 1.19	7.49 ^a $\pm$ 1.42	7.45 ^a $\pm$ 1.32
Buy intention	3.94 ^a $\pm$ 1.15	3.98 ^a $\pm$ 0.97	4.11 ^a $\pm$ 1.04	3.97 ^a $\pm$ 1.10

The average of the values for the attributes aroma, appearance, taste, texture and worldwide acceptance obtained score ranging from 6.84 to 7.52. In the hedonic scale represents between “I liked slightly” to “I liked very much” the products. For the purchase intention, the average of the results ranged from 3.94 to 4.11, ranging between “I’m in doubt if I would buy” to “I certainly would buy”. Percentages of acceptability higher than 70% are considered good and can be commercially promising. (MEILGAARD *et al.*, 2007). All samples obtained averages higher than 70% in every item evaluated in a sensory way.

The results obtained on the sensory analysis demonstrated that the cookies prepared with almond flour of the babassu coconut can be commercially viable, because they presented good acceptability when evaluated by distinct age groups and different sexes.

5.4 CONCLUSIONS

Considering the abundance of the raw material (almond of the babassu) and the lack of aggregation of value in the residue (almond flour) deriving from the oil or milk extraction, it is considered that the almond flour is a great alternative for the enrichment of food products in an attempt to elevate its nutritional value with a raw material of low cost. It also constitutes in an excellent source of income for the poorest population that depends on the babassu income.

The analysis of the results allows concluding that the methodology used for the production of biscuits of the type cookie replaced partially for almond flour of the babassu, in lab scale, was appropriated for the evaluation of its final use. As well as, the good acceptance of the cookies by consumers of different age groups supports the central objective of this work which was to produce food with a bigger nutritional value that could be appreciated by a larger number of consumers. Thus, in function of the good results obtained in the project, it is believed be possible the partial replacement of the wheat flour for this raw material on the formulation presented here, without reduce in the sensory quality of the product. The physical and microbiological analyses evaluated did not have considerable difference, as the ashes and proteins contents of the physicochemical analysis.

5.5 REFERENCIAS

AACC. **Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists**. 8th. Saint Paul: AACC, 1983.

_____. **Approved methods**. 10th. Saint Paul.: American Association of Cereal Chemists, 2000.

ALBUQUERQUE, J. G. D. et al. Integral utilization of seriguela fruit (*Spondias purpurea* L.) in the production of cookies. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 38, 2016. ISSN 0100-2945. Disponível em: <
http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-29452016000300701&nrm=iso>.

ANDREWS, W. H. et al. Salmonella. In: DOWNES, P. e ITO, F. (Ed.). **Compendium of methods for the microbiological examination of foods**. 4^a ed. Washington: American Public Health Association, 2001. p.357-380.

AOAC. **Official methods of analysis**. 16 ed. Gaithersburg: AOAC International, 1997.

_____. **Official Methods of Analysis**. 18th. Gaithersburg: Association of Official Analytical Chemists International, 2002.

BERTAGNOLLI, S. M. M. et al. Bioactive compounds and acceptance of cookies made with Guava peel flour. **Food Science and Technology (Campinas)**, v. 34, n. 2, p. 303-308, 2014. ISSN 0101-2061.

BICK, M. A.; DE OLIVEIRA FOGAÇA, A.; STORCK, C. R. Cookies with different concentrations of quinoa flour in partial replacement of wheat flour. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 17, n. 2, p. 121, 2014. ISSN 1516-7275.

BRASIL. **Resolução RDC nº 12, de 02 de janeiro de 2001**. Dispõe sobre os princípios gerais para o estabelecimento de critérios e padrões microbiológicos para alimentos. Brasília: Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) 2001.

CARRAZZA, L. R.; SILVA, M. L. D.; ÁVILA, J. C. C. **Manual Tecnológico de Aproveitamento Integral do Fruto do Babaçu**. Brasília-DF: Instituto Sociedade, População e Natureza (ISPN), 2012.

- CLEMENT, C. R.; LLERAS, E.; VAN LEEUWEN, J. O potencial das palmeiras tropicais no Brasil: acertos e fracassos das últimas décadas. **Agrociencia**, v. 9, n. 1-2, p. 67-71, 2005. ISSN 1510-0839.
- CLERICI, M. T. P. S.; DE OLIVEIRA, M. E.; NABESHIMA, E. H. Physical, chemical and sensory quality of cookies elaborated with partial substitution of wheat flour by defatted sesame flour. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 16, n. 2, p. 139, 2013. ISSN 1516-7275.
- CUTTER, C. N. Microbial Control by Packaging: A Review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 42, n. 2, p. 151-161, 2002/03/01 2002. ISSN 1040-8398. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1080/10408690290825493> >.
- FASOLIN, L. H. et al. Biscoitos produzidos com farinha de banana: avaliações química, física e sensorial. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 3, p. 524-529, 2007. ISSN 0101-2061.
- FEDDERN, V. et al. Physical and sensory evaluation of wheat and rice bran cookies. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 14, n. 4, p. 267-274, 2011. ISSN 1981-6723.
- FERREIRA, S. M. R. et al. Cookies sem glúten a partir da farinha de sorgo. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, v. 59, n. 4, p. 433, 2009. ISSN 0004-0622.
- IBGE. **Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2013.
- JAMES, C.; COURTNEY, D.; LORENZ, K. Rice bran-soy blends as protein supplements in cookies. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 24, n. 5, p. 495-502, 1989. ISSN 1365-2621.
- KARNOPP, A. R. et al. Effects of whole-wheat flour and bordeaux grape pomace (*Vitis labrusca* L.) on the sensory, physicochemical and functional properties of cookies. **Food Science and Technology (Campinas)**, v. 35, n. 4, p. 750-756, 2015. ISSN 0101-2061.
- LEITE, R. S. et al. Tempeh flour as a substitute for soybean flour in coconut cookies. **Food Science and Technology (Campinas)**, v. 33, p. 796-800, 2013. ISSN 0101-2061. Disponível em: <

http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-20612013000400028&nrm=iso >.

LIMA, J. P. et al. Farinha de entrecasca de melancia em biscoitos sem glúten. **Ciência Rural**, v. 45, n. 9, p. 1688-1694, 2015. ISSN 1678-4596.

LUTZ, I. A. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008. 1020 p.

MARIANI, M. et al. Elaboration and evaluation of gluten-free cookies made with rice bran and rice and soy flours. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 18, n. 1, p. 70, 2015. ISSN 1516-7275.

MEILGAARD, M. C.; CARR, B. T.; CIVILLE, G. V. **Sensory evaluation techniques**. 4^a ed. London: CRC press, 2007. ISBN 0849338395.

MENDEZ, M. et al. Tabela de composição de alimentos. **Niterói: Universidade Federal Fluminense**, 1995.

MONTES, S. D. S. et al. Tapioca and rice flour cookies: Technological, nutritional and sensory properties. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 39, p. 514-522, 2015. ISSN 1413-7054. Disponível em: <
http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-70542015000500514&nrm=iso >.

PIOVESANA, A.; BUENO, M. M.; KLAJN, V. M. Elaboration and acceptability of cookies enhanced with oat and flour grape pomace. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 16, n. 1, p. 68, 2013. ISSN 1516-7275.

RUFINO, M. U. D. L. et al. Conhecimento e uso do ouricuri (*Syagrus coronata*) e do babaçu (*Orbignya phalerata*) em Buíque, PE, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 22, p. 1141-1149, 2008. ISSN 0102-3306. Disponível em: <
http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-33062008000400025&nrm=iso >.

SANTOS, A. A. O. et al. Elaboração de biscoitos de chocolate com substituição parcial da farinha de trigo por polvilho azedo e farinha de albedo de laranja. **Ciência Rural**, v. 41, n. 3, p. 531-536, 2011. ISSN 1678-4596.

SILVA, N. et al. **Manual de métodos de análise microbiológica de alimentos**. 3^a ed. São Paulo: Varela, 2001. 109 p.

SOUZA, A. D. M. et al. Alimentos mais consumidos no Brasil: Inquérito nacional de alimentação 2008-2009. **Revista de Saúde Pública**, v. 47, n. suppl. 1, p. 190-199, 2013. ISSN 1518-8787.

TSEN, C. Regular and protein fortified cookies from composite flours. **Cereal Foods World**, 1976. ISSN 0146-6283.

VIEIRA, T. D. S. et al. Effect of wheat flour substitution on the development of gluten-free cookies. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 18, n. 4, p. 285, 2015. ISSN 1516-7275.

VORAGEN, A. G. Technological aspects of functional food-related carbohydrates. **Trends in Food Science & Technology**, v. 9, n. 8, p. 328-335, 1998. ISSN 0924-2244.

ZAGO, M. F. C. et al. Jabuticaba peel in the production of cookies for school food: Technological and sensory aspects. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 39, n. 6, p. 624-633, 2015. ISSN 1413-7054.

CAPITULO 6: CONCLUSÕES GERAIS E PERSPECTIVAS



Amêndoa do Coco Babaçu e a Farinha obtida após a extração do leite

Foto: *Autor*

CONCLUSÕES GERAIS

A farinha da amêndoa do babaçu mostra-se promissora como fonte alternativa no desenvolvimento de novos produtos e como substituto em produtos já disponíveis no mercado. Demonstrou boas propriedades funcionais tecnológicas para aplicação em pães, biscoitos e massas em geral.

O teor de umidade em equilíbrio aumentou com a diminuição da temperatura em atividade constante da água. O modelo que melhor se adapta aos dados das isotermas de adsorção da Farinha da Amêndoa foi o modelo Halsey.

O calor isostérico de sorção (q_{st}) aumentou à medida que a umidade da FA diminuiu, mostrando interações fortes entre a água e os compostos da Amêndoa.

A velocidade do ar de secagem não influencia na perda de água durante a desidratação da FA. Já as curvas de secagem mostram a influência da temperatura.

O modelo de Midilli *et al* foi o que melhor descreveu o comportamento da cinética de secagem da FA e coeficiente de difusão aparente aumenta com a elevação da temperatura do ar de secagem.

Na secagem da FA, a entalpia decresce com o aumento da temperatura. A energia livre de Gibbs aumentou com o aumento de temperatura, sendo suas magnitudes positivas na faixa de temperatura utilizada no trabalho. A entropia é negativa para toda a faixa de temperatura estudada.

Considera-se que a farinha da amêndoa é uma ótima alternativa para o enriquecimento de produtos alimentícios como uma matéria-prima de baixo custo. Constitui também em uma excelente fonte de renda para a população mais carente que depende da renda do babaçu.

A boa aceitação dos biscoitos por consumidores de faixas etárias diferentes, corrobora o objetivo central deste trabalho que foi o de se produzir um alimento de maior valor nutricional que pudesse ser apreciado pelo maior número de consumidores. Portanto, acredita-se ser possível a substituição parcial da farinha de trigo por esta matéria-prima na formulação aqui apresentada, sem que haja perdas da qualidade sensorial do produto.

PERSPECTIVAS

- Montar secador de baixo custo para a FA do Babaçu;
- Ampliar o uso da FA na elaboração de outros produtos alimentícios;
- Realizar estudos com o Extrato hidrossolúvel (Leite do Coco).

**APÊNDICE A: DADOS DA
SECAGEM E PARÂMETROS
OBTIDOS DOS MODELOS
AJUSTADOS AOS DADOS DE
SECAGEM DA FARINHA DA
AMÊNDOA DO BABAÇU**

Tabela A.1: Dados de secagem da farinha da amêndoa do coco babaçu a velocidade de 0,7 m/s.

Tempo (s)	X (b.s)±desvio padrão (kg·kg ⁻¹)			
	40 °C	50 °C	60 °C	70 °C
0	1,501±0,000	1,501±0,000	1,501±0,000	1,501±0,000
120	1,465±0,001	1,468±0,003	1,471±0,006	1,465±0,005
240	1,441±0,000	1,440±0,013	1,437±0,016	1,427±0,011
480	1,387±0,002	1,379±0,015	1,356±0,040	1,334±0,027
720	1,330±0,007	1,320±0,023	1,277±0,056	1,254±0,040
1440	1,159±0,021	1,131±0,047	1,038±0,055	0,983±0,081
2160	0,999±0,028	0,941±0,086	0,815±0,077	0,733±0,040
2880	0,840±0,036	0,755±0,044	0,615±0,098	0,515±0,020
3600	0,688±0,047	0,592±0,042	0,443±0,116	0,349±0,000
4320	0,555±0,061	0,426±0,035	0,318±0,117	0,241±0,021
5040	0,430±0,074	0,319±0,040	0,235±0,093	0,167±0,038
5760	0,335±0,077	0,231±0,079	0,181±0,070	0,116±0,050
6480	0,259±0,080	0,170±0,052	0,148±0,035	0,081±0,060
7200	0,212±0,073	0,138±0,035	0,126±0,015	0,058±0,045
7920	0,177±0,057	0,117±0,023	0,115±0,015	0,045±0,033
8640	0,154±0,042	0,106±0,018	0,104±0,023	0,037±0,026
9360	0,138±0,028	0,100±0,016	0,102±0,025	0,032±0,022
10080	0,126±0,017	0,097±0,015	0,100±0,026	0,032±0,023
10800	0,117±0,009	0,095±0,016	0,099±0,026	0,028±0,018
11520	0,110±0,002	0,094±0,016	0,098±0,026	0,027±0,018
12240	0,105±0,003	0,093±0,016	0,098±0,026	0,027±0,018
12960	0,102±0,007	0,092±0,016	0,098±0,026	0,026±0,018
13680	0,099±0,010	0,091±0,017	0,097±0,026	0,026±0,018
14400	0,097±0,013	0,091±0,017	0,097±0,026	0,026±0,018

Tabela A.2: Dados de secagem da farinha da amêndoa do coco babaçu a velocidade de 1,0 m/s.

Tempo (s)	X (b.s)±desvio padrão (kg·kg ⁻¹)			
	40 °C	50 °C	60 °C	70 °C
0	1,468±0,000	1,468±0,000	1,468±0,000	1,468±0,000
120	1,462±0,005	1,436±0,009	1,441±0,016	1,450±0,022
240	1,458±0,007	1,430±0,015	1,425±0,008	1,414±0,017
480	1,412±0,020	1,389±0,036	1,342±0,011	1,296±0,035
720	1,365±0,017	1,339±0,066	1,263±0,042	1,199±0,038
1440	1,251±0,034	1,168±0,020	1,016±0,078	0,858±0,083
2160	1,138±0,041	1,028±0,007	0,769±0,036	0,537±0,149
2880	1,054±0,069	0,891±0,048	0,589±0,021	0,325±0,144
3600	0,944±0,093	0,753±0,051	0,398±0,105	0,206±0,081
4320	0,832±0,071	0,625±0,071	0,275±0,073	0,154±0,019
5040	0,737±0,075	0,513±0,091	0,194±0,047	0,122±0,008
5760	0,649±0,083	0,413±0,075	0,149±0,048	0,102±0,005
6480	0,577±0,089	0,328±0,055	0,132±0,024	0,099±0,004
7200	0,496±0,085	0,259±0,056	0,114±0,008	0,092±0,005
7920	0,432±0,038	0,224±0,057	0,108±0,008	0,088±0,007
8640	0,369±0,029	0,186±0,044	0,103±0,017	0,082±0,009
9360	0,311±0,011	0,156±0,044	0,100±0,016	0,076±0,010
10080	0,260±0,005	0,139±0,021	0,094±0,021	0,073±0,012
10800	0,222±0,002	0,125±0,009	0,088±0,011	0,070±0,018
11520	0,190±0,019	0,117±0,009	0,086±0,012	0,063±0,014
12240	0,169±0,002	0,112±0,001	0,081±0,003	0,055±0,023
12960	0,136±0,001	0,110±0,002	0,073±0,001	0,052±0,022
13680	0,109±0,017	0,103±0,004	0,072±0,001	0,044±0,023
14400	0,092±0,013	0,092±0,008	0,069±0,001	0,040±0,024

Tabela A.3: Dados de secagem da farinha da amêndoa do coco babaçu a velocidade de 1,3 m/s.

Tempo (s)	X (b.s)±desvio padrão (kg·kg ⁻¹)			
	40 °C	50 °C	60 °C	70 °C
0	1,199±0,000	1,199±0,000	1,199±0,000	1,199±0,000
120	1,186±0,003	1,172±0,011	1,133±0,006	1,103±0,009
240	1,170±0,007	1,146±0,002	1,107±0,010	1,021±0,039
480	1,089±0,027	1,050±0,014	1,000±0,005	0,899±0,061
720	1,032±0,023	0,989±0,004	0,905±0,015	0,710±0,066
1440	0,800±0,047	0,754±0,033	0,591±0,014	0,281±0,072
2160	0,636±0,077	0,553±0,043	0,347±0,019	0,108±0,025
2880	0,508±0,078	0,402±0,059	0,187±0,018	0,082±0,010
3600	0,412±0,087	0,281±0,039	0,131±0,028	0,075±0,005
4320	0,337±0,089	0,224±0,039	0,094±0,028	0,072±0,002
5040	0,281±0,067	0,184±0,017	0,077±0,036	0,063±0,001
5760	0,244±0,049	0,156±0,016	0,067±0,011	0,059±0,004
6480	0,231±0,049	0,144±0,004	0,052±0,023	0,056±0,002
7200	0,220±0,048	0,133±0,011	0,049±0,023	0,051±0,005
7920	0,205±0,037	0,131±0,010	0,045±0,025	0,048±0,008
8640	0,201±0,033	0,128±0,011	0,045±0,025	0,043±0,008
9360	0,192±0,043	0,124±0,010	0,043±0,027	0,039±0,009
10080	0,185±0,036	0,124±0,016	0,039±0,022	0,038±0,009
10800	0,168±0,033	0,122±0,015	0,034±0,017	0,030±0,008
11520	0,151±0,036	0,120±0,012	0,032±0,018	0,029±0,008
12240	0,143±0,034	0,118±0,014	0,032±0,018	0,029±0,008
12960	0,133±0,031	0,113±0,014	0,030±0,021	0,026±0,008
14040	0,126±0,027	0,114±0,008	0,029±0,022	0,024±0,008
14880	0,123±0,023	0,112±0,007	0,029±0,022	0,021±0,008

Tabela A.4: Parâmetros obtidos dos modelos ajustados aos dados de secagem da Farinha da Amêndoa do Babaçu.

Modelos	Velocidade	Temperatura	k ₁	k ₂
Peleg	0,7 m·s ⁻¹	40 °C	2.062,899	0,514
		50 °C	1.610,024	0,552
		60 °C	1.429,895	0,535
		70 °C	2.500,974	0,493
	1,0 m·s ⁻¹	40 °C	5.137,658	0,347
		50 °C	3.070,675	0,470
		60 °C	1.609,664	0,560
		70 °C	1.133,144	0,588
	1,3 m·s ⁻¹	40 °C	2.131,271	0,753
		50 °C	1.627,327	0,754
		60 °C	1.118,506	0,732
		70 °C	668,202	0,773
			k (10 ⁻⁵)	n
Page	0,7 m·s ⁻¹	40 °C	2,478	1,275
		50 °C	1,948	1,325
		60 °C	5,922	1,213
		70 °C	3,104	1,316
	1,0 m·s ⁻¹	40 °C	1,079	1,305
		50 °C	2,152	1,272
		60 °C	3,118	1,299
		70 °C	2,957	1,358
	1,3 m·s ⁻¹	40 °C	52,506	0,925
		50 °C	23,795	1,057
		60 °C	5,757	1,305
		70 °C	8,614	1,338
			k (10 ⁻⁴)	n
Page Modificada	0,7 m·s ⁻¹	40 °C	3,478	1,045
		50 °C	4,129	1,056
		60 °C	2,634	1,043
		70 °C	3,028	1,051
	1,0 m·s ⁻¹	40 °C	1,680	1,052
		50 °C	2,315	1,048
		60 °C	3,692	1,057
		70 °C	5,009	1,069
	1,3 m·s ⁻¹	40 °C	12,658	1,015
		50 °C	17,978	1,032
		60 °C	24,493	1,050
		70 °C	50,034	1,045
			a	k (10 ⁻⁴)
Henderson- Pabis	0,7 m·s ⁻¹	40 °C	1,043	2,634
		50 °C	1,051	3,028
		60 °C	1,044	3,478
		70 °C	1,056	4,129

		40 °C	1,053	1,680			
	1,0 m·s ⁻¹	50 °C	1,049	2,315			
		60 °C	1,058	3,692			
		70 °C	1,069	5,009			
	1,3 m·s ⁻¹	40 °C	1,014	2,888			
		50 °C	1,032	3,880			
		60 °C	1,050	6,040			
		70 °C	1,045	9,369			
			a	k(10⁻⁴)	b	k₁(10⁻⁴)	c
		40 °C	-1,329	1,502	1,181	1,887	1,181
	0,7 m·s ⁻¹	50 °C	-1,354	1,886	1,198	2,312	1,198
		60 °C	0,322	3,477	0,361	3,479	0,361
		70 °C	-1,913	2,363	1,479	2,860	1,477
<i>Henderson-Pabis</i>		40 °C	-2,213	0,565	1,619	0,821	1,619
<i>Modificada</i>	1,0 m·s ⁻¹	50 °C	-1,424	1,244	1,229	1,589	1,230
		60 °C	-0,320	2,401	0,687	3,283	0,687
		70 °C	0,038	5,012	0,516	5,008	0,516
	1,3 m·s ⁻¹	40 °C	0,082	0,095	0,481	3,777	0,481
		50 °C	0,011	-1,311	0,517	4,231	0,517
		60 °C	0,019	6,059	0,515	6,037	0,515
		70 °C	0,487	9,356	0,279	9,379	0,279
			k(10⁻⁴)				
		40 °C	3,311				
	0,7 m·s ⁻¹	50 °C	3,893				
		60 °C	2,521				
		70 °C	2,874				
<i>Newton</i>		40 °C	1,589				
	1,0 m·s ⁻¹	50 °C	2,203				
		60 °C	3,467				
		70 °C	4,620				
	1,3 m·s ⁻¹	40 °C	2,835				
		50 °C	3,727				
		60 °C	5,690				
		70 °C	8,812				
			a	k(10⁻⁴)	c		
		40 °C	1,034	3,631	0,015		
	0,7 m·s ⁻¹	50 °C	1,074	3,848	-0,025		
		60 °C	1,068	2,418	-0,033		
		70 °C	1,062	2,905	-0,015		
<i>Logarítmica</i>		40 °C	1,255	1,121	-0,223		
	1,0 m·s ⁻¹	50 °C	1,088	2,053	-0,050		
		60 °C	1,054	3,743	0,005		
		70 °C	1,064	5,134	0,009		
	1,3 m·s ⁻¹	40 °C	0,970	3,716	0,073		
		50 °C	1,001	4,540	0,048		
		60 °C	1,057	5,874	-0,010		
		70 °C	1,043	9,446	0,003		

			a (10 ⁻⁴)	b (10 ⁻⁹)		
Wang e Sing	0,7 m·s ⁻¹	40 °C	-1,779	7,902		
		50 °C	-1,930	9,075		
		60 °C	-2,051	1,009		
		70 °C	-2,175	1,078		
	1,0 m·s ⁻¹	40 °C	-1,199	3,681		
		50 °C	-1,628	6,807		
		60 °C	-2,081	1,025		
		70 °C	-2,259	1,158		
	1,3 m·s ⁻¹	40 °C	-1,920	9,410		
		50 °C	-2,159	11,204		
		60 °C	-2,437	13,021		
		70 °C	-2,558	14,048		
			a	k(10 ⁻⁴)	b	k ₁ (10 ⁻⁴)
Dois termos	0,7 m·s ⁻¹	40 °C	0,521	2,633	0,521	2,634
		50 °C	0,525	3,029	0,525	3,027
		60 °C	0,522	3,481	0,522	3,476
		70 °C	0,528	4,131	0,528	4,125
	1,0 m·s ⁻¹	40 °C	0,526	1,680	0,526	1,680
		50 °C	0,524	2,314	0,524	2,314
		60 °C	0,529	3,692	0,529	3,692
		70 °C	0,535	5,009	0,534	5,009
	1,3 m·s ⁻¹	40 °C	0,961	3,767	0,083	0,101
		50 °C	0,012	-1,309	1,034	4,228
		60 °C	0,525	6,045	0,525	6,033
		70 °C	0,521	9,373	0,525	9,364
			a	k		
Exponencial de dois termos	0,7 m·s ⁻¹	40 °C	0,002	0,149		
		50 °C	0,003	0,905		
		60 °C	0,003	0,119		
		70 °C	0,011	0,037		
	1,0 m·s ⁻¹	40 °C	0,025	0,006		
		50 °C	0,002	0,125		
		60 °C	0,003	0,118		
		70 °C	0,003	0,165		
	1,3 m·s ⁻¹	40 °C	0,003	0,092		
		50 °C	0,003	0,129		
		60 °C	0,002	0,238		
		70 °C	0,002	0,389		
			a	k(10 ⁻⁴)	b	
Aproximação da difusão	0,7 m·s ⁻¹	40 °C	-0,003	-1,281	-1,913	
		50 °C	0,010	-0,006	-501,891	
		60 °C	0,025	-0,005	-810,043	
		70 °C	-0,004	-1,139	-3,319	
	1,0 m·s ⁻¹	40 °C	-0,009	-1,841	-0,752	
		50 °C	-0,004	-1,478	-1,429	
60 °C		0,020	-0,003	-1.225,280		

1,3 m·s ⁻¹	70 °C	0,019	-0,033	-148,577
	40 °C	0,045	-0,371	-9,625
	50 °C	0,036	-0,306	-14,424
	60 °C	-0,001	-1,522	-3,715
	70 °C	0,007	-0,009	-917,520

**APÊNDICE B: AJUSTES DOS
DADOS DE SECAGEM AOS
MODELOS CINÉTICOS
ESTUDADOS**

Figura B.1: Modelagem das curvas de secagem da Farinha da Amêndoa do Babaçu empregando o modelo de Peleg na velocidade de $0,7 \text{ m.s}^{-1}$.

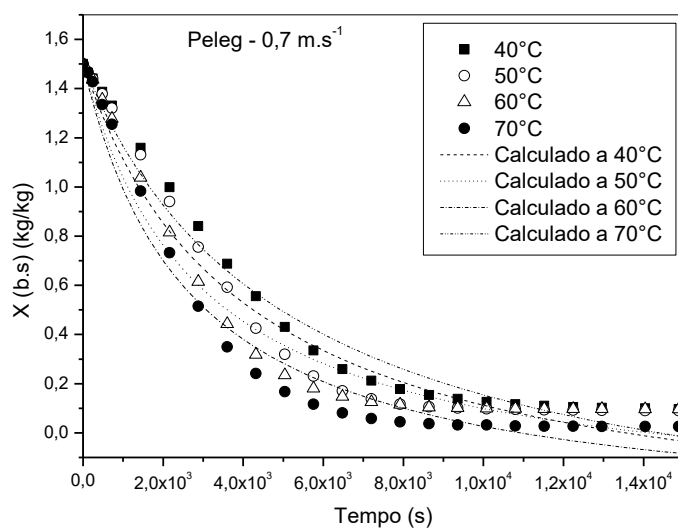


Figura B.2: Modelagem das curvas de secagem da Farinha da Amêndoa do Babaçu empregando o modelo de Peleg na velocidade de $1,0 \text{ m.s}^{-1}$.

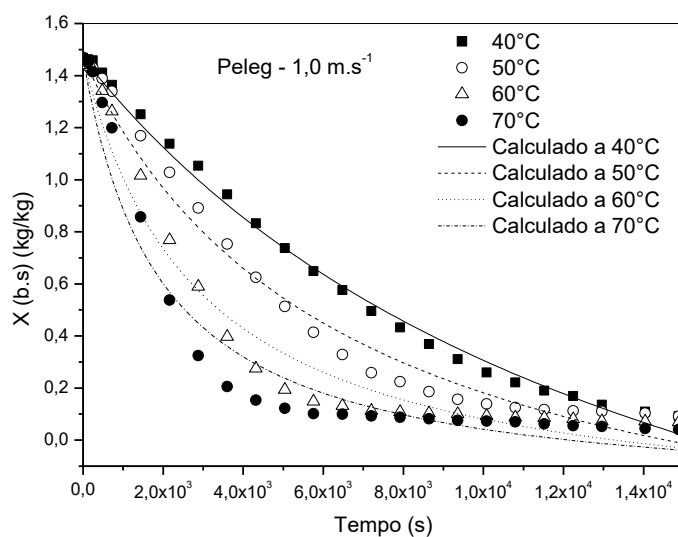


Figura B.3: Modelagem das curvas de secagem da Farinha da Amêndoa do Babaçu empregando o modelo de Peleg na velocidade de $1,3 \text{ m.s}^{-1}$

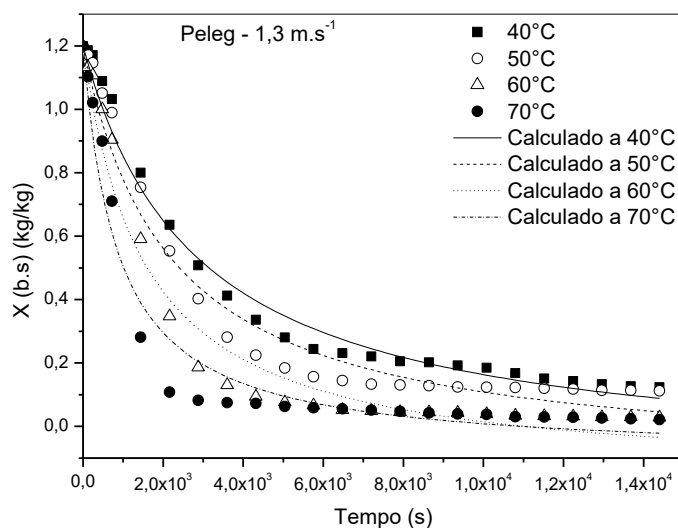


Figura B.4: Modelagem das curvas de secagem da Farinha da Amêndoa do Babaçu empregando o modelo de Page na velocidade de $0,7 \text{ m.s}^{-1}$.

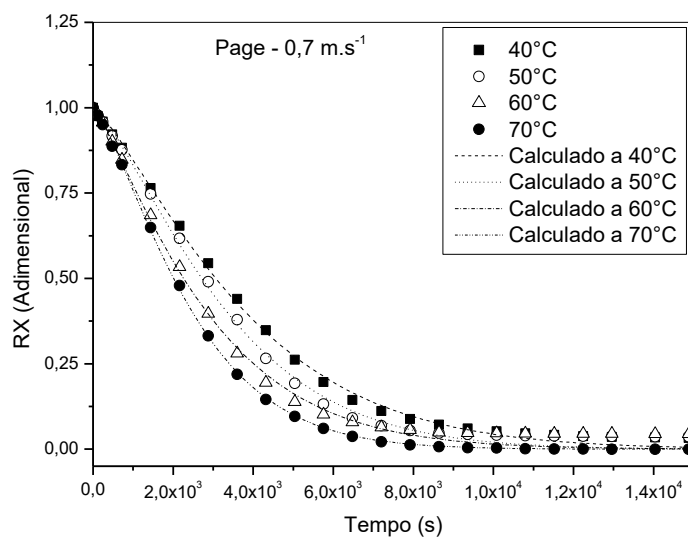


Figura B.5: Modelagem das curvas de secagem da Farinha da Amêndoa do Babaçu empregando o modelo de Pege na velocidade de $1,0 \text{ m.s}^{-1}$

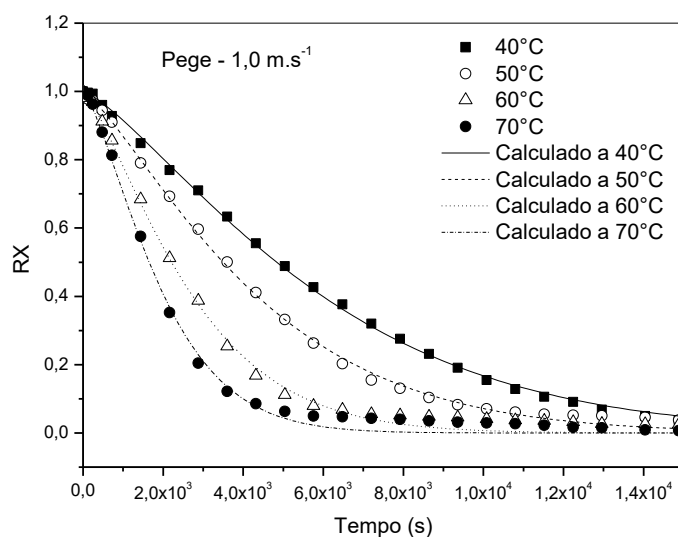


Figura B.6: Modelagem das curvas de secagem da Farinha da Amêndoa do Babaçu empregando o modelo de Pege na velocidade de $1,3 \text{ m.s}^{-1}$.

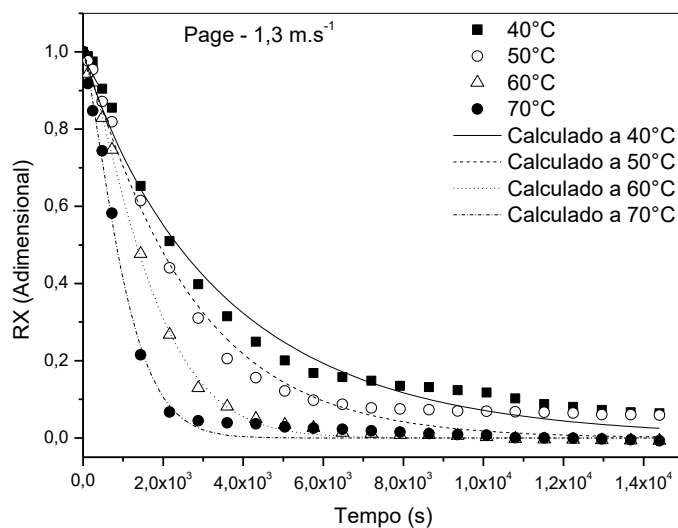


Figura B.7: Modelagem das curvas de secagem da Farinha da Amêndoa do Babaçu empregando o modelo de Pege Modificado na velocidade de $0,7 \text{ m.s}^{-1}$.

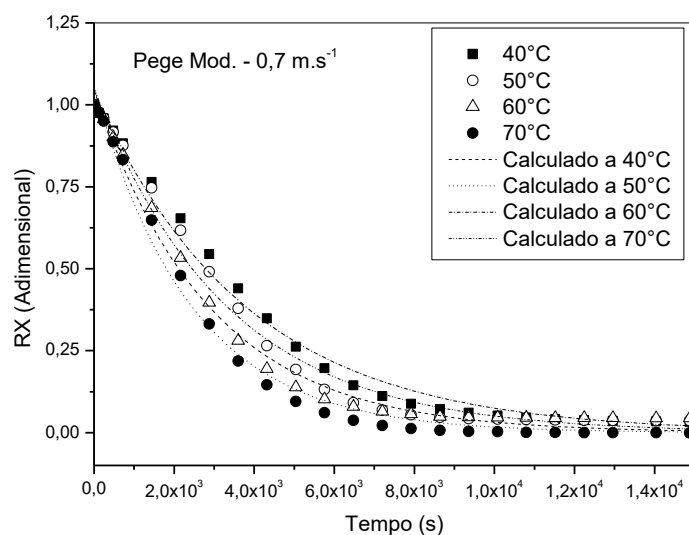


Figura B.8: Modelagem das curvas de secagem da Farinha da Amêndoa do Babaçu empregando o modelo de Pege Modificado na velocidade de $1,0 \text{ m.s}^{-1}$.

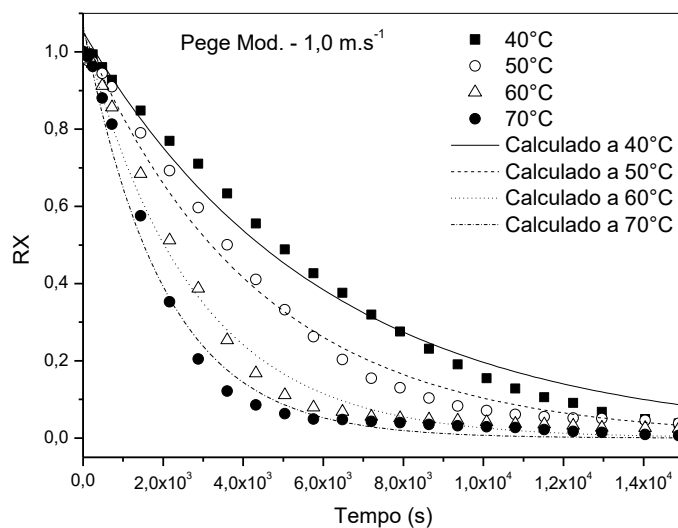


Figura B.9: Modelagem das curvas de secagem da Farinha da Amêndoa do Babaçu empregando o modelo de Pege Modificado na velocidade de $1,3 \text{ m.s}^{-1}$.

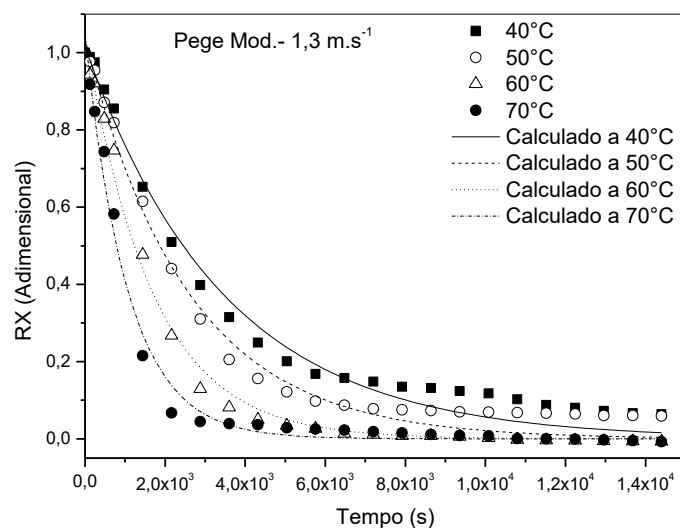


Figura B.10: Modelagem das curvas de secagem da Farinha da Amêndoa do Babaçu empregando o modelo de Henderson-Pabis na velocidade de $0,7 \text{ m.s}^{-1}$.

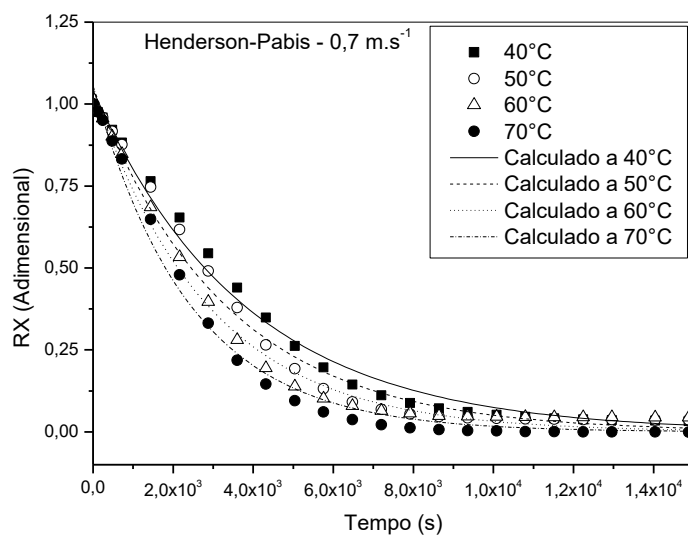


Figura B.11: Modelagem das curvas de secagem da Farinha da Amêndoa do Babaçu empregando o modelo de Henderson-Pabis na velocidade de $1,0 \text{ m.s}^{-1}$.

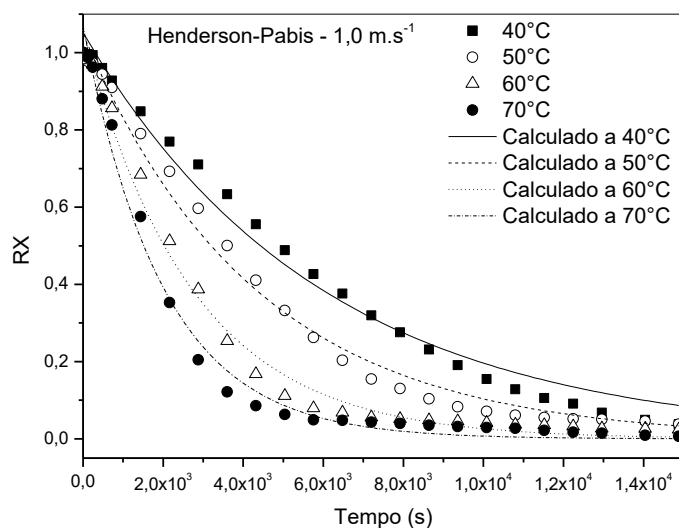


Figura B.12: Modelagem das curvas de secagem da Farinha da Amêndoa do Babaçu empregando o modelo de Henderson-Pabis na velocidade de $1,3 \text{ m.s}^{-1}$.

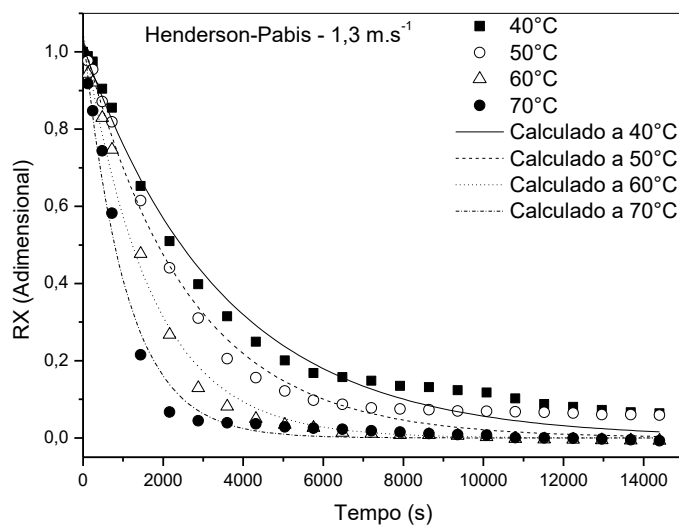


Figura B.13: Modelagem das curvas de secagem da Farinha da Amêndoa do Babaçu empregando o modelo de Newton na velocidade de $0,7 \text{ m.s}^{-1}$.

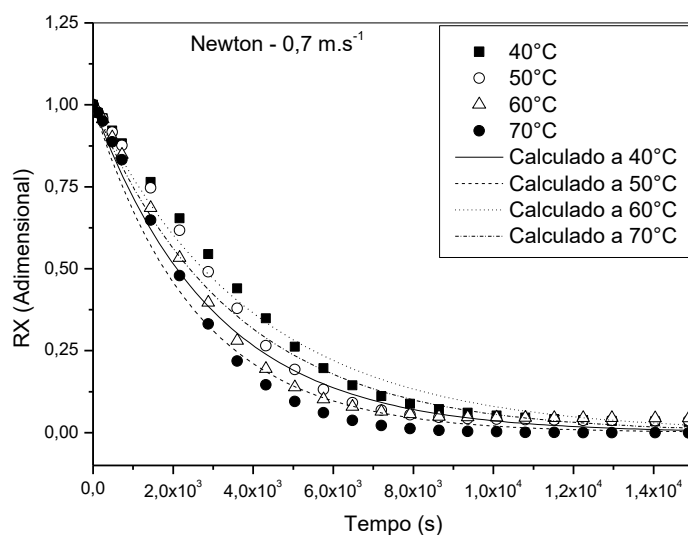


Figura B.14: Modelagem das curvas de secagem da Farinha da Amêndoa do Babaçu empregando o modelo de Newton na velocidade de $1,0 \text{ m.s}^{-1}$.

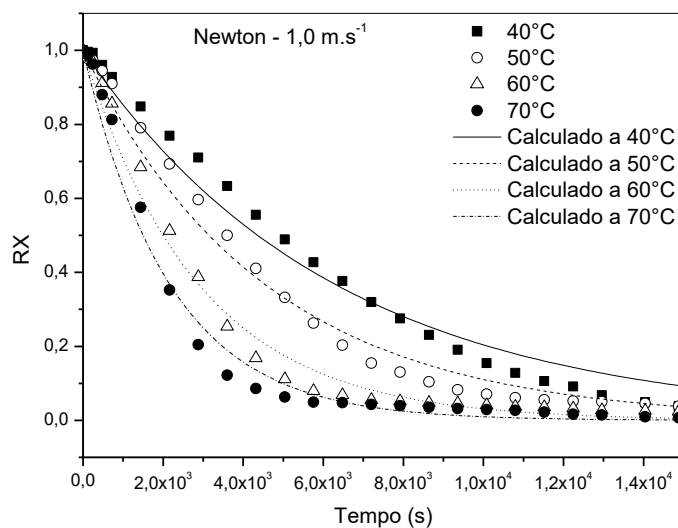


Figura B.15: Modelagem das curvas de secagem da Farinha da Amêndoa do Babaçu empregando o modelo de Newton na velocidade de $1,3 \text{ m.s}^{-1}$.

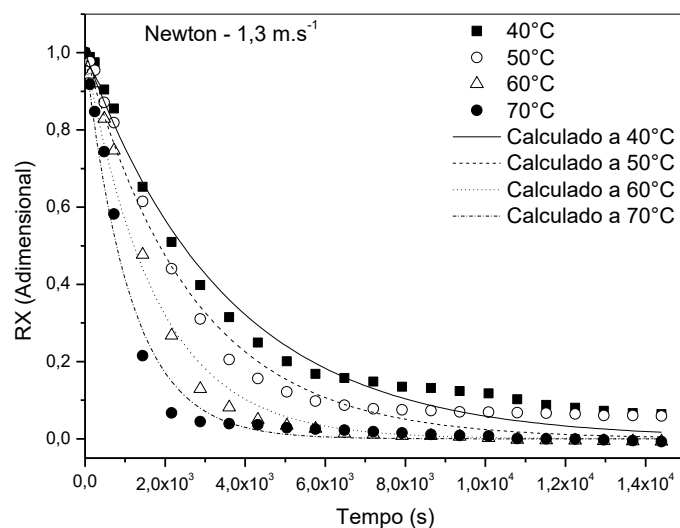


Figura B.16: Modelagem das curvas de secagem da Farinha da Amêndoa do Babaçu empregando o modelo logarítmico na velocidade de $0,7 \text{ m.s}^{-1}$.

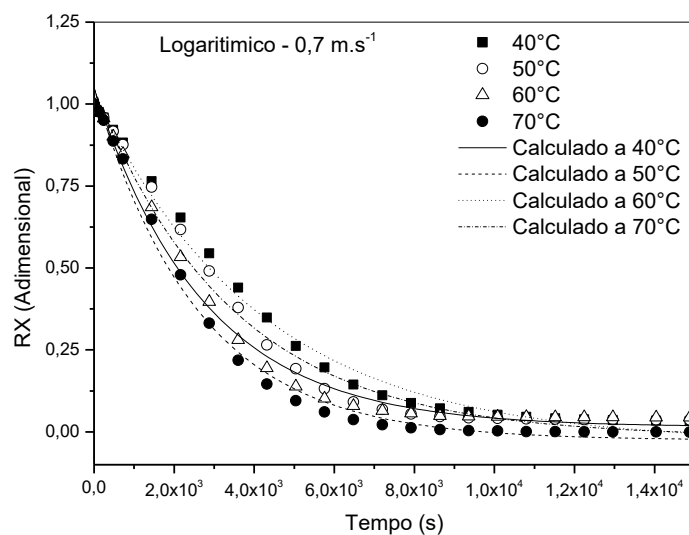


Figura B.17: Modelagem das curvas de secagem da Farinha da Amêndoa do Babaçu empregando o modelo logarítmico na velocidade de $1,0 \text{ m.s}^{-1}$.

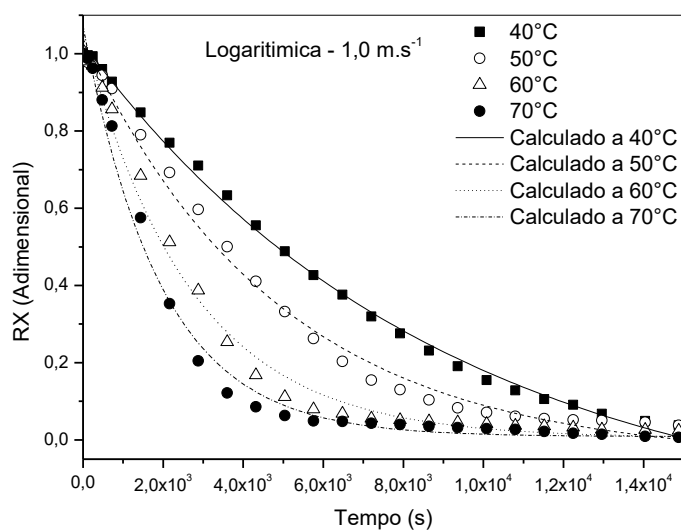


Figura B.18: Modelagem das curvas de secagem da Farinha da Amêndoa do Babaçu empregando o modelo logarítmico na velocidade de $1,3 \text{ m.s}^{-1}$.

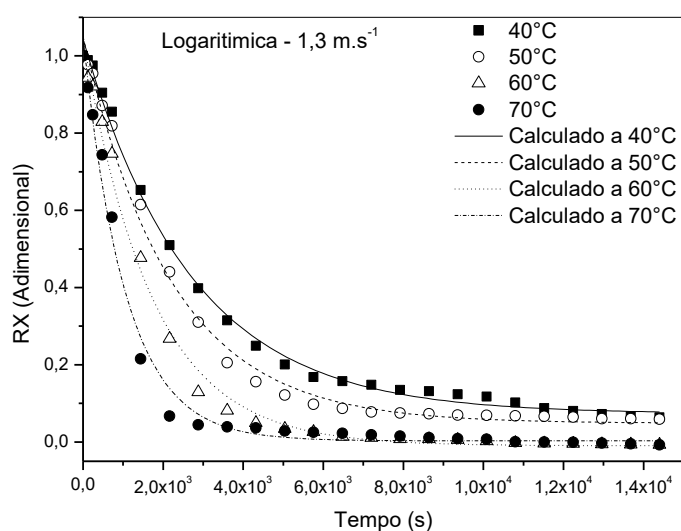


Figura B.19: Modelagem das curvas de secagem da Farinha da Amêndoa do Babaçu empregando o modelo de Wang e Sing na velocidade de $0,7 \text{ m.s}^{-1}$.

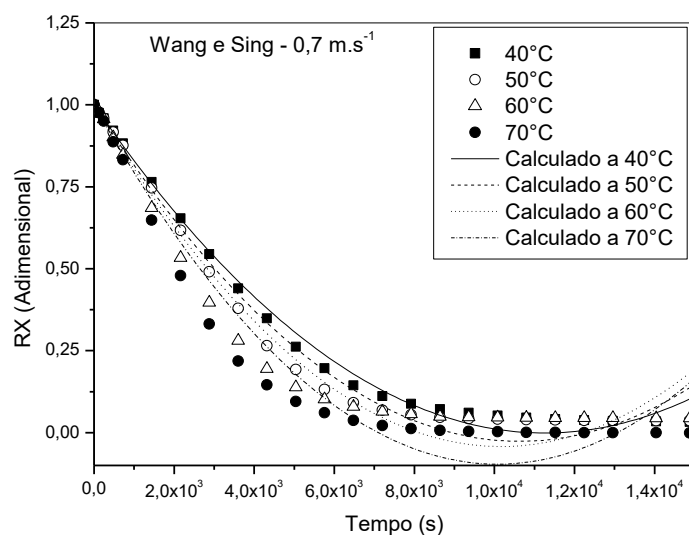


Figura B.20: Modelagem das curvas de secagem da Farinha da Amêndoa do Babaçu empregando o modelo de Wang e Sing na velocidade de $1,0 \text{ m.s}^{-1}$.

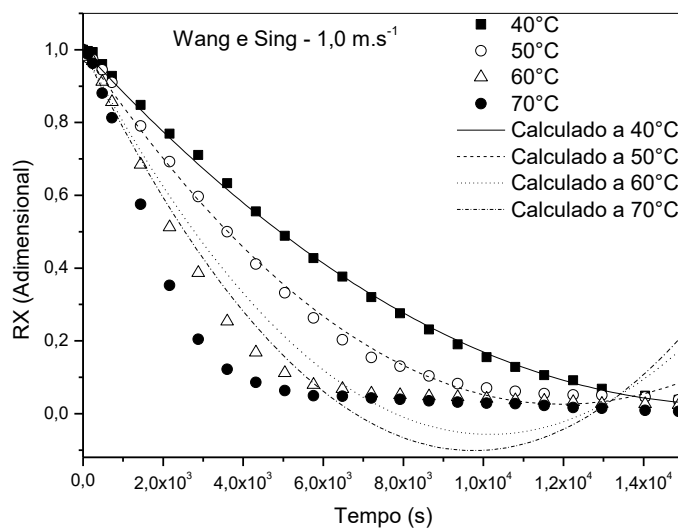


Figura B.21: Modelagem das curvas de secagem da Farinha da Amêndoa do Babaçu empregando o modelo de Wang e Sing na velocidade de $1,3 \text{ m.s}^{-1}$.

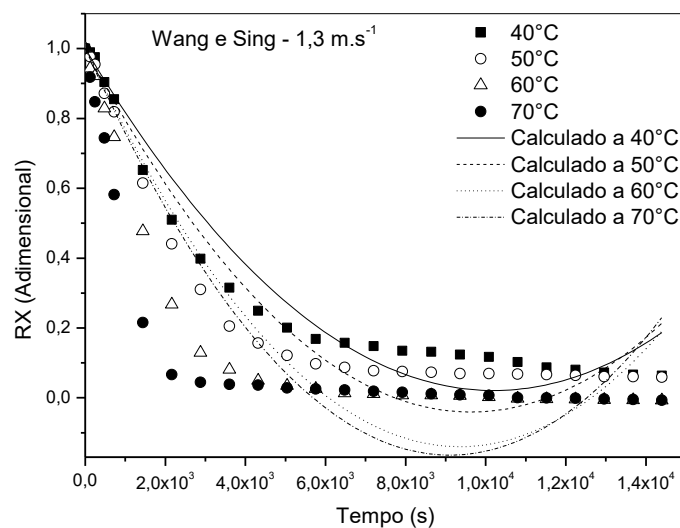


Figura B.22: Modelagem das curvas de secagem da Farinha da Amêndoa do Babaçu empregando o modelo de Dois Termos na velocidade de $0,7 \text{ m.s}^{-1}$.

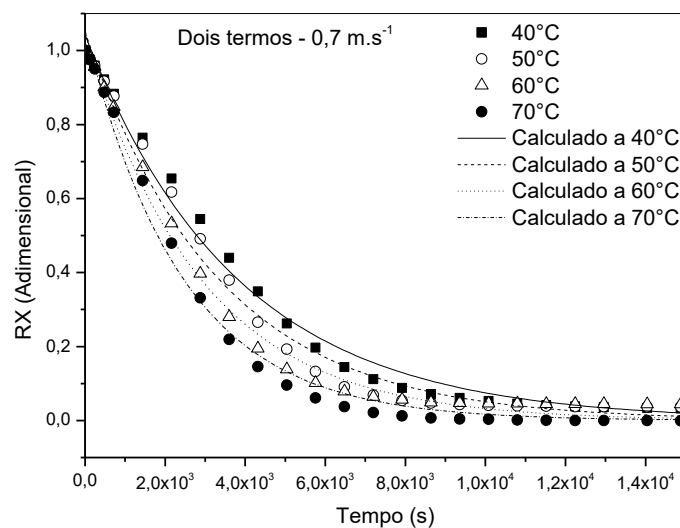


Figura B.23: Modelagem das curvas de secagem da Farinha da Amêndoa do Babaçu empregando o modelo de Dois Termos na velocidade de $1,0 \text{ m.s}^{-1}$.

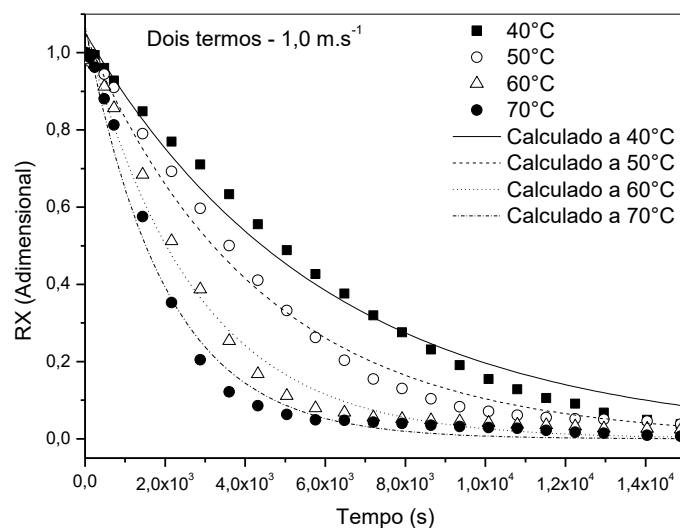


Figura B.23: Modelagem das curvas de secagem da Farinha da Amêndoa do Babaçu empregando o modelo de Dois Termos na velocidade de $1,3 \text{ m.s}^{-1}$.

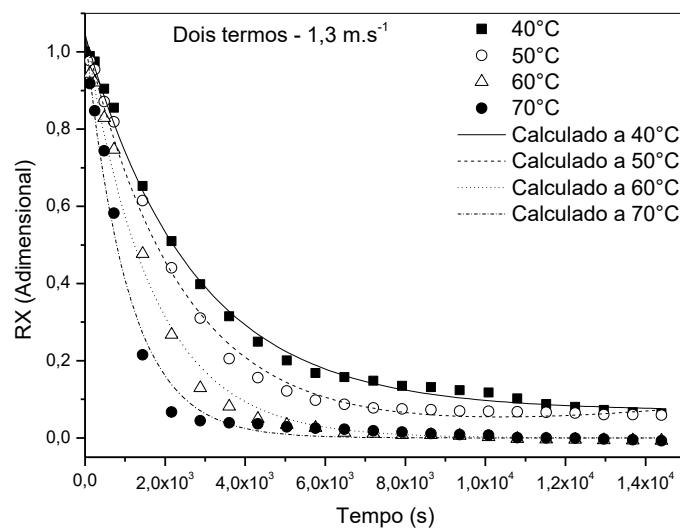


Figura B.24: Modelagem das curvas de secagem da Farinha da Amêndoa do Babaçu empregando o modelo de Henderson-Pabis Modificado na velocidade de $0,7 \text{ m.s}^{-1}$.

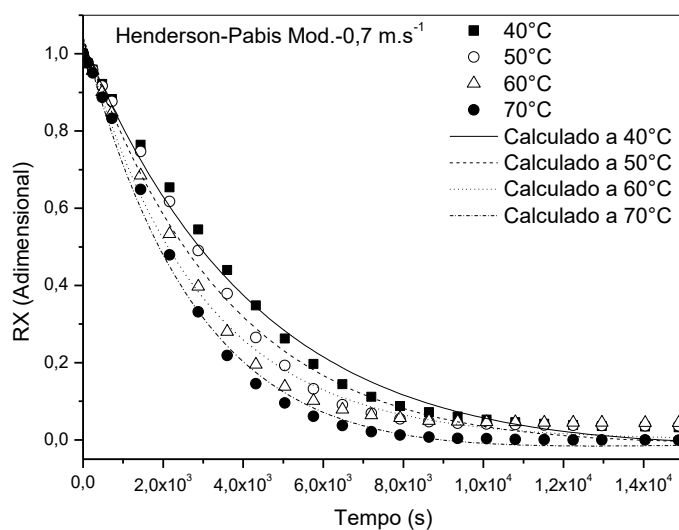


Figura B.25: Modelagem das curvas de secagem da Farinha da Amêndoa do Babaçu empregando o modelo de Henderson-Pabis Modificado na velocidade de $1,0 \text{ m.s}^{-1}$.

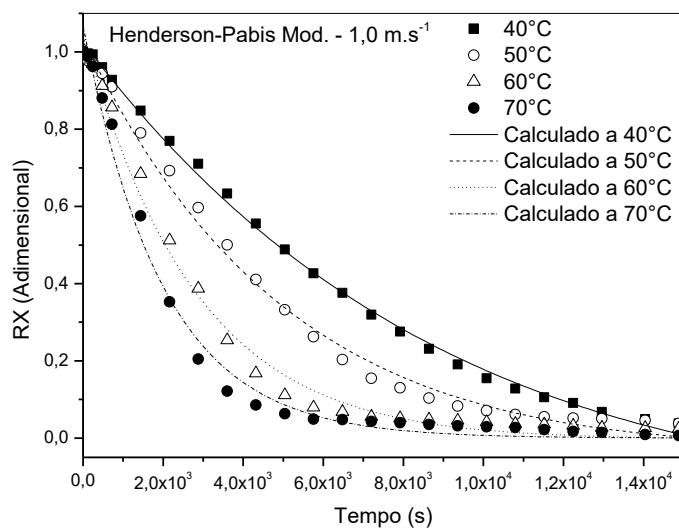


Figura B.26: Modelagem das curvas de secagem da Farinha da Amêndoa do Babaçu empregando o modelo de Henderson-Pabis Modificado na velocidade de $1,3 \text{ m.s}^{-1}$.

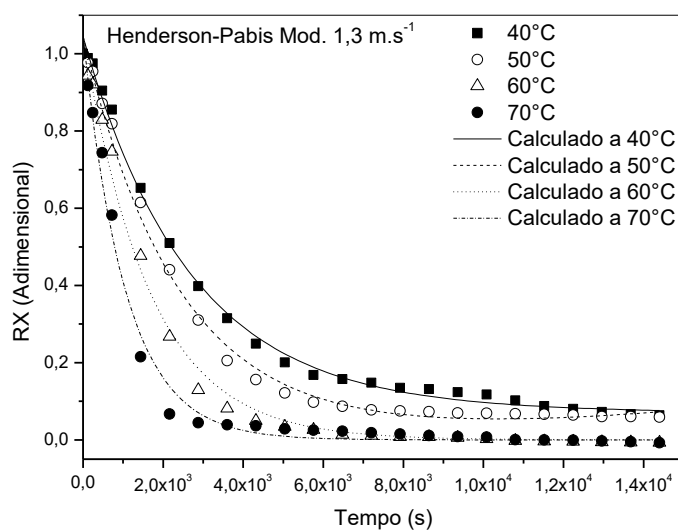


Figura B.27: Modelagem das curvas de secagem da Farinha da Amêndoa do Babaçu empregando o modelo de Aproximação da Difusão na velocidade de $0,7 \text{ m.s}^{-1}$.

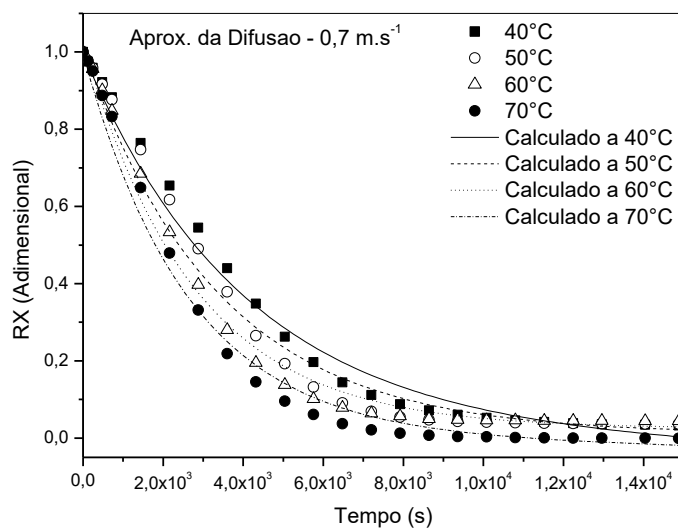


Figura B.28: Modelagem das curvas de secagem da Farinha da Amêndoa do Babaçu empregando o modelo de Aproximação da Difusão na velocidade de $1,0 \text{ m.s}^{-1}$.

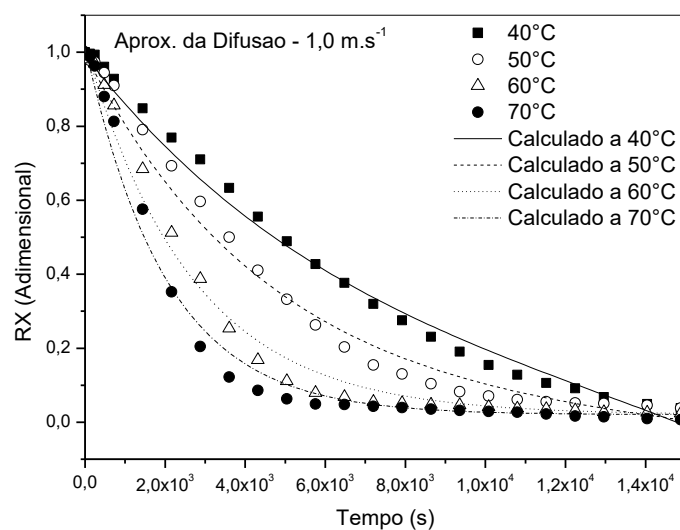


Figura B.29: Modelagem das curvas de secagem da Farinha da Amêndoa do Babaçu empregando o modelo de Aproximação da Difusão na velocidade de $1,3 \text{ m.s}^{-1}$.

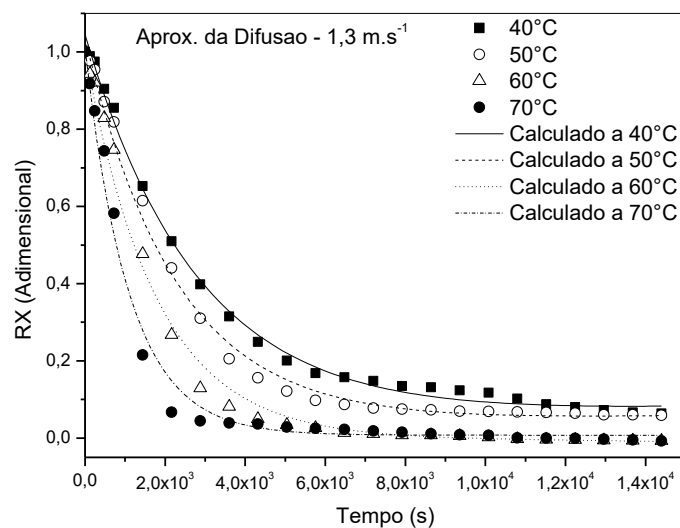


Figura B.30: Modelagem das curvas de secagem da Farinha da Amêndoa do Babaçu empregando o modelo Exponencial de Dois Termos na velocidade de $0,7 \text{ m.s}^{-1}$.

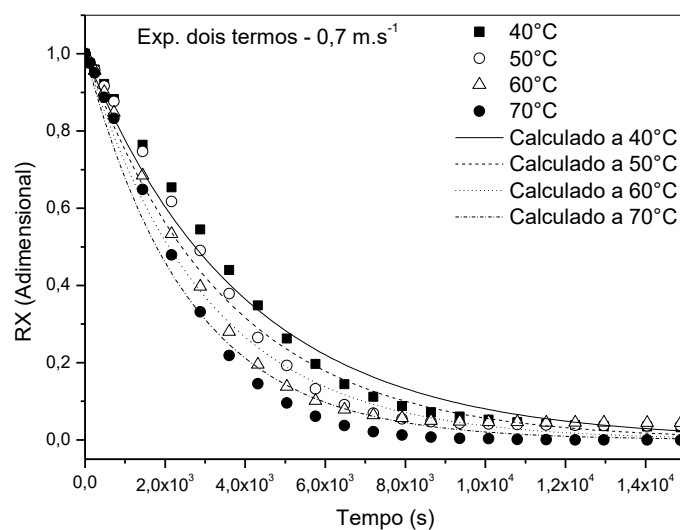


Figura B.31: Modelagem das curvas de secagem da Farinha da Amêndoa do Babaçu empregando o modelo Exponencial de Dois Termos na velocidade de $1,0 \text{ m.s}^{-1}$.

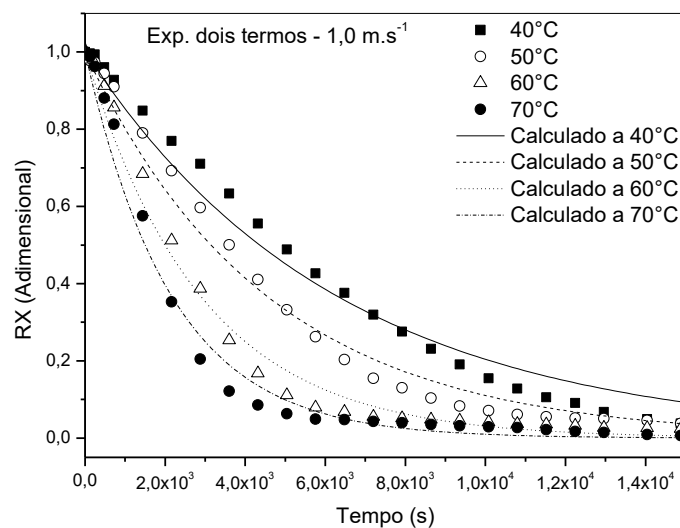
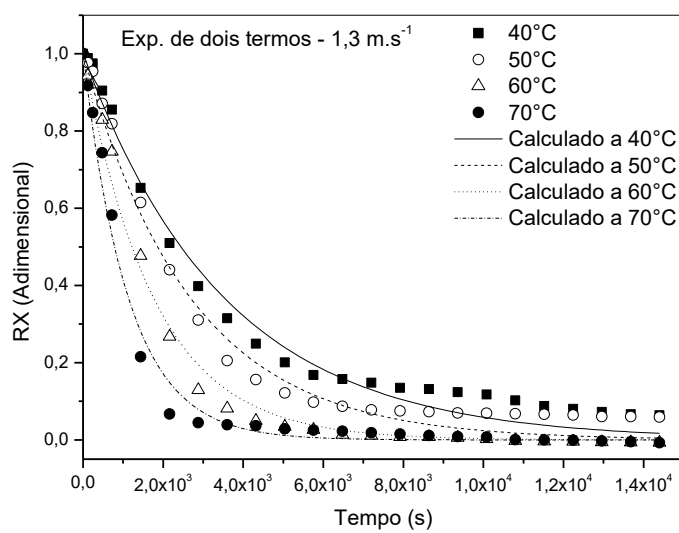


Figura B.32: Modelagem das curvas de secagem da Farinha da Amêndoa do Babaçu empregando o modelo Exponencial de Dois Termos na velocidade de 1,3 m.s⁻¹.



TERMO DE REPRODUÇÃO XEROGRÁFICA

Autorizo a reprodução xerográfica do presente Trabalho de Conclusão, na íntegra ou em partes, para fins de pesquisa.

São José do Rio Preto, 24/07/2017

Assinatura do autor