

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE - UFCG
CENTRO DE EDUCAÇÃO E SAÚDE - CES
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS NATURAIS E BIOTECNOLOGIA
PPGCNBIOTEC

ANA PAULA MOISÉS DE SOUSA

**UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE JACA NO DESENVOLVIMENTO DE NOVOS
PRODUTOS**

CUITÉ-PB

2016

ANA PAULA MOISÉS DE SOUSA

**UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE JACA NO DESENVOLVIMENTO DE NOVOS
PRODUTOS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Campina Grande, como parte das exigências do Programa de Pós - Graduação em Ciências Naturais e Biotecnologia, para obtenção do título de Mestre.

Orientadores: Prof.^a Dr.^a Ana Regina Nascimento Campos
Prof. Dr. Renato Alexandre Costa de Santana

CUITÉ-PB
2016

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA NA FONTE
Responsabilidade Jesiel Ferreira Gomes – CRB 15 – 256

S725u Sousa, Ana Paula Moisés de.

Utilização de resíduos de jaca no desenvolvimento de novos produtos. / Ana Paula Moisés de Sousa. – Cuité: CES, 2016.

162 fl.

Dissertação (Mestrado em Ciências Naturais e Biotecnologia) – Centro de Educação e Saúde / UFCG, 2016.

Orientadora: Dra. Ana Regina Nascimento Campos.
Coorientador: Dr. Renato Alexandre Costa de Santana.

1. *Artocarpus heterophyllus* Lam. 2. Farinha de resíduo. 3. Produto alimentício. 4. Enriquecimento proteico. I. Título.

ANA PAULA MOISÉS DE SOUSA

**UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE JACA NO DESENVOLVIMENTO DE NOVOS
PRODUTOS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Campina Grande, como parte das exigências do Programa de Pós - Graduação em Ciências Naturais e Biotecnologia, para obtenção do título de Mestre.

Aprovada em 22 de julho de 2016.

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Dr.^a Ana Regina Nascimento Campos
Orientadora
UFCG/CES/UABQ

Prof. Dr. Renato Alexandre Costa de Santana
Orientador
UFCG/CES/UABQ

Prof.^a Dr.^a Maria Franco Trindade Medeiros
Examinadora
UFCG/CES/UABQ

Prof.^a Dr.^a Sharline Florentino de Melo Santos
Examinadora
UFPB/CT/DEQ

Dedico este trabalho à minha amada família.
Em especial a minha mãe, Janice e minha irmã, Gabriela.
Minhas sobrinhas, Ester e Eduarda.
E ao meu amor, Jaciel.

AGRADECIMENTOS

Ao meu Pai Divino, pelo dom da minha vida, pelas maravilhas e bênçãos proporcionadas a mim.

À minha família, se não fosse por eles, nada disso seria possível. Muitas vezes, estou longe fisicamente, mas em sentimento estarei sempre por perto. Obrigada, família, pelo incentivo e apoio a todas as etapas e caminhos que trilhei. Minha amada amiga mainha, obrigada por tudo, apesar das nossas diferenças, eu a amo incondicionalmente. Minha amada irmã, sem você, nada faria sentido. Obrigada por ter me dado a minha afilhada sobrinha tão adorada, em tão curto tempo, já tivemos momentos marcantes que guardarei para o resto de minha memória.

Aos meus orientadores, Professora Ana e Professor Renato. “Cai de paraquedas” aos cuidados de vocês, e quão grata surpresa foi esse “encontro”. Acredito, que o destino traz as pessoas certas, na hora certa, e vocês foram uma dessas pessoas. Obrigada por cada momento de ensinamento, conversas e diversões. Muito, muito obrigada por terem me aceito como orientanda.

Ao meu amor, Jaciel, e sua família. Amor, se não fossem as jacas, você nunca teria me levado para jantar!!! Obrigada por estar ao meu lado, pelo seu carinho, cuidado, atenção e, sobretudo, pelo seu amor. Agradeço também a sua família, por me receberem e acolherem com tanto amor. Sinto-me uma princesa aos cuidados da minha sogrinha (D. Neuma), do meu sogrinho (Seu José) e do meu padrinho Deda (porque se é seu, é meu também). Obrigada por me deixarem fazer parte do convívio de vocês!!

Ao meu amigo, Daniel. Obrigada, Dany boy, pela sua nobre amizade. Obrigada, por ter me ajudado no desenvolvimento da pesquisa. E lembre-se, estarei na sua banca de defesa da dissertação, portanto, me ajude caso venha a precisar!! ;)

Aos amigos de laboratório LBBA e LEC, em especial, a Priscila, Jaciara e Anderson. Gente, sou fã de vocês!!!

A professora Rossana do Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas (LAPPA), por ter cedido o espaço e Laboratório para execução de uma etapa do meu trabalho.

A Maria José do LAPPA, por ter me ajudado e por ser tão prestativa.

As minhas amigas, em especial, a Rafa, Larissa, Sanny e Laysa. Obrigada, meninas, pelo incentivo, nunca irei esquecer-me do início da jornada na pós-graduação e, vocês,

estiveram junto comigo. Apesar da ausência, não esqueçam que tenho um imenso carinho por todas! Obrigada por serem minhas amigas, definitivamente, tenho as melhores!!!

A Tácia. Ciência, obrigada pela sua amizade, carinho e atenção. Obrigada por ser a senhora da química e da física!!

Aos funcionários terceirizados, na pessoa de Xavier e Carlinhos.

Ao Centro de Educação e Saúde da Universidade Federal de Campina Grande por abrir as portas para a minha realização do Curso de Pós-Graduação em Ciências Naturais e Biotecnologia.

A CAPES, pelo apoio financeiro a pesquisa e incentivo financeiro.

A todos e todas, que contribuíram de forma direta ou indireta para a realização de mais uma etapa,

Muito Obrigada!

“Tenho andado distraído
Impaciente e indeciso
E ainda estou confuso
Só que agora é diferente
Estou tão tranquilo e tão contente”
Legião Urbana

RESUMO

Espécies do gênero *Artocarpus* apresentam importâncias econômicas no mercado alimentício, agroindústria e medicinal. A jaqueira (*Artocarpus heterophyllus* Lam), por exemplo, produz a maior de todas as frutas comestíveis nascidas em árvore, sendo bastante rica em nutrientes. Seu consumo, porém, é pouco disperso se resumindo aos locais de produção. Os frutos da jaqueira e seus constituintes são de grandes utilidades culinárias com potencial para serem aperfeiçoadas e industrializadas. Dessa maneira, o presente trabalho tem por objetivo estudar a utilização de resíduos de jaca no desenvolvimento de produtos alternativos. Os experimentos foram conduzidos no Laboratório de Bioquímica e Biotecnologia de Alimentos da UFCG/CES. Foram adquiridas jacas provenientes da feira local do município de Lagoa Seca-PB. A massa total da jaca é constituída de aproximadamente 76 % de resíduos (casca, eixo, pívide e sementes). Os resíduos de jaca apresentaram características físicas e químicas que indicam a possibilidade de seu aproveitamento através do desenvolvimento de novos produtos destinados ao consumo humano e animal, tornando-se uma alternativa para solucionar o problema de acúmulo de resíduo e gerando um produto de valor agregado. O emprego da levedura *Saccharomyces cerevisiae* na fermentação semissólida da casca e do bagaço viabiliza a obtenção de um suplemento proteico, que poderá posteriormente ser utilizado como fonte alternativa de maior potencial proteico na alimentação de ruminantes, quando comparada a outros alimentos oferecidos aos animais. A elaboração da farinha de resíduos de jaca obtida por secagem convectiva e forno de micro-ondas foi potencialmente viável para o aproveitamento dos resíduos da fruta. O produto apresentou características físicas e químicas dentro dos padrões estabelecidos, demonstrando ser um produto que poderá, posteriormente, ser utilizado na formulação de novos produtos alimentícios.

Palavras-chaves: *Artocarpus heterophyllus* Lam. Enriquecimento proteico. Farinha de Resíduo. Produto Alimentício.

ABSTRACT

Artocarpus genus species have economic importance in the food, agribusiness and medical market. Jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam), for example, produces most of all the fruit born tree, being very rich in nutrients. Consumption, however, is little short to be dispersed production sites. The fruits of jackfruit and their constituents are of great culinary uses with potential to be improved and industrialized. Thus, this paper aims to study the use of jackfruit waste in the development of alternative products. The experiments were conducted at the Laboratory of Biochemistry and Biotechnology Food UFCG/CES. Jackfruit were be purchased from the local market in the municipality of Lagoa Seca-PB. The total mass of jackfruit consists of approximately 76 % of waste (shell axis pívide and seeds). The jackfruit waste showed physical and chemical characteristics that indicate the possibility of their use by developing new products for human and animal consumption, making it an alternative to solve the waste accumulation problem and generating a value-added product. The use of *Saccharomyces cerevisiae* in solid state fermentation peel and bagasse enables obtaining a protein supplement, which can later be used as an alternative source of protein greater potential in ruminant feed compared to other foods offered to animals. The preparation of jackfruit waste flour obtained by convective drying and microwave oven was potentially feasible for the recovery of waste fruit. The product has physical and chemical characteristics within the established standards, proving to be a product that can subsequently be used in the formulation of new food products.

Keywords: *Artocarpus heterophyllus* Lam. Enrichment Protein Residue Flour. Alimentary Product.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|-----|
| Figura 1.1. Arquitetura típica de <i>Artocarpus heterophyllus</i> Lam. (A). Detalhe do tronco (B). | 26 |
| Figura 1.2. Folhas da jaqueira <i>Artocarpus heterophyllus</i> Lam. (A). Folha jovem lobada (B). Pecíolo curto para fixação da folha (C). Nervação broquidódroma da folha (D). | 27 |
| Figura 1.3. Inflorescência feminina e masculina (A). Inflorescência feminina apresentando flores maiores (B). | 28 |
| Figura 1.4. Frutos de <i>Artocarpus heterophyllus</i> Lam. sustentados por ramificações (A). Protuberâncias da casca, denominadas de carpelos (B). Eixo central do fruto (C). | 29 |
| Figura 1.5. A infrutescência, jaca, e seus constituintes (A). Membrana fina que protege a semente da jaca (B). | 30 |
| Figura 1.6. Resíduos da jaca (<i>Artocarpus heterophyllus</i> Lam.). Casca (A). Eixo (B). Pívide (C). | 35 |
| Figura 2. 1. Substratos. Casca (A). Bagaço (Eixo e Pívide) (B). Casca e Bagaço (C). | 65 |
| Figura 2.2. Cinética do aumento proteico durante a FSS, experimento 1. | 77 |
| Figura 2.3. Cinética do aumento proteico durante a FSS, experimento 2. | 77 |
| Figura 2.4. Cinética do aumento proteico durante a FSS, experimento 3. | 78 |
| Figura 2.5. Cinética do aumento proteico durante a FSS, experimento 4. | 78 |
| Figura 2.6. Cinética do aumento proteico durante a FSS, experimento 5. | 79 |
| Figura 2.7. Cinética do aumento proteico durante a FSS, experimento 6. | 79 |
| Figura 2.8. Cinética do aumento proteico durante a FSS, experimento 7. | 80 |
| Figura 2.9. Cinética do aumento proteico durante a FSS, experimento 8. | 80 |
| Figura 2.10. Cinética do aumento proteico durante a FSS, experimento 9. | 81 |
| Figura 2.11. Cinética do aumento proteico durante a FSS, experimento 10. | 81 |
| Figura 2. 12. Gráfico de Pareto para o aumento proteico dos resíduos da jaca, com 95 % de confiança. | 85 |
| Figura 2.13. Superfície de resposta do efeito da concentração de levedura versus concentração de bagaço tendo como resposta o aumento proteico. | 86 |
| Figura 3.1. Curva de secagem do produto durante o processo de secagem. | 101 |
| Figura 3.2. Disposição dos béqueres no prato giratório do FMO para mapeamento térmico. | 109 |

| | |
|--|-----|
| Figura 3.3. Cinética de secagem do resíduo casca de jaca (<i>Artocarpus heterophyllus</i> Lam.) em diferentes temperaturas de secagem com ajuste pelo método de Page..... | 114 |
| Figura 3.4. Cinética de secagem do resíduo eixo central da jaca (<i>Artocarpus heterophyllus</i> Lam.) em diferentes temperaturas de secagem com ajuste pelo método de Page. | 116 |
| Figura 3.5. Cinética de secagem do resíduo pívide da jaca (<i>Artocarpus heterophyllus</i> Lam.) em diferentes temperaturas de secagem com ajuste pelo método de Page..... | 118 |
| Figura 3.6. Mapeamento por secagem da solução aquosa de CoCl ₂ : antes da irradiação das micro-ondas(A); após irradiação com prato giratório(B) e após irradiação com prato fixo(C). | 119 |
| Figura 3.7. Mapeamento térmico por meio da variação de temperatura da água, aquecimento simultâneo dos béqueres. A) com prato fixo. B) com prato giratório. | 120 |
| Figura 3.8. Mapeamento térmico por meio da variação de temperatura da água, aquecimento individual dos béqueres. A) com prato fixo. B) prato giratório. | 121 |
| Figura 3.9. Curva de calibração da potência do FMO..... | 122 |
| Figura 3.10. Representação gráfica da curva de aquecimento média da água no FMO..... | 124 |
| Figura 3.11. Ajuste do modelo de Page para as amostras de casca de jaca (<i>Artocarpus heterophyllus</i> Lam.) durante a secagem com potência de 50 % do FMO. | 125 |
| Figura 3.12. Resíduo casca in natura (A). Farinha de casca obtida por MO..... | 126 |
| Figura 4.1. Classificação qualitativa das isotermas de adsorção física, de acordo com Brunauer..... | 141 |
| Figura 4.2. Farinhas de casca de jaca (<i>Artocarpus heterophyllus</i> Lam.) obtidas por estufa a 60 °C e FMO. Casca in natura (A). Farinha obtida por MO (B). Farinha obtida por estufa (C). | 150 |
| Figura 4.3. Isotermas de adsorção de água da farinha de casca de jaca (<i>Artocarpus heterophyllus</i> Lam.) obtida por secagem em estufa a 60 °C, com ajuste pelo modelo de GAB. | 153 |
| Figura 4.4. Isotermas de adsorção de água da farinha de casca de jaca (<i>Artocarpus heterophyllus</i> Lam.) obtida por secagem em FMO, com ajuste pelo modelo de GAB..... | 153 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|-----|
| Tabela 1.1 Características biométricas do fruto (<i>Artocarpus heterophyllus</i> Lam.) <i>in natura</i> .. | 39 |
| Tabela 1.2. Características referentes à massa do fruto (<i>Artocarpus heterophyllus</i> Lam.) e seus constituintes..... | 40 |
| Tabela 1.3. Teor de água dos resíduos do fruto (<i>Artocarpus heterophyllus</i> Lam.)..... | 41 |
| Tabela 1.4. Características químicas dos constituintes do fruto (casca e bagaço) (<i>Artocarpus heterophyllus</i> Lam.)..... | 42 |
| Tabela 1.5. Minerais encontrados na casca e do bagaço do fruto (<i>Artocarpus heterophyllus</i> Lam.)..... | 44 |
| Tabela 2.1. Matriz do planejamento fatorial $3^2 + 1$ | 68 |
| Tabela 2.2. Caracterização física e química da levedura (<i>S. cerevisiae</i>) empregada no processo de enriquecimento proteico. | 69 |
| Tabela 2.3. Caracterização física e química dos resíduos de jaca (casca, eixo e pívide) (<i>Artocarpus heterophyllus</i> Lam.) <i>in natura</i> antes do processo fermentativo..... | 70 |
| Tabela 2.4. Constituintes minerais da casca e do bagaço da jaca (<i>Artocarpus heterophyllus</i> Lam.) <i>in natura</i> antes do processo fermentativo. | 71 |
| Tabela 2.5. Valores do teor de água durante o processo de fermentação semissólida. | 72 |
| Tabela 2.6. Valores de pH durante o processo de fermentação semissólida. | 73 |
| Tabela 2.7. Valores de resíduo mineral fixo durante o processo de fermentação semissólida. | 75 |
| Tabela 2.8. Percentual de proteína bruta dos substratos durante o processo de FSS dos experimentos..... | 75 |
| Tabela 2.9. Percentual do aumento proteico dos substratos durante o processo de FSS dos experimentos..... | 76 |
| Tabela 2.10. Resultados das respostas para o aumento proteico da casca de jaca associada ao bagaço (eixo e pívide)..... | 83 |
| Tabela 2.11. Resultados da ANOVA para o Aumento Proteico (AP)..... | 84 |
| Tabela 3.1. Modelos de regressão não-linear aplicados às curvas de secagem de resíduos de <i>Artocarpus heterophyllus</i> Lam..... | 107 |
| Tabela 3.2. Parâmetros de ajuste dos modelos das curvas de cinética de secagem da casca de jaca (<i>Artocarpus heterophyllus</i> Lam.), para as diferentes temperaturas. | 113 |
| Tabela 3.3. Parâmetros de ajuste dos modelos das curvas de cinética de secagem do eixo da jaca (<i>Artocarpus heterophyllus</i> Lam.), para as diferentes temperaturas. | 115 |

| | |
|---|-----|
| Tabela 3.4. Parâmetros de ajuste dos modelos das curvas de cinética de secagem do pívide da jaca (<i>Artocarpus heterophyllus</i> Lam.), para as diferentes temperaturas. | 117 |
| Tabela 3.5. Valores da potência teórica e potência real de trabalho do FMO..... | 122 |
| Tabela 3.6. Valores de temperatura obtidos no teste de reprodutibilidade. | 123 |
| Tabela 3.7. Valores dos parâmetros da secagem da casca de jaca (<i>Artocarpus heterophyllus</i> Lam.) em FMO..... | 124 |
| Tabela 4.1. Modelos matemáticos de ajuste de isothermas de adsorção de água..... | 145 |
| Tabela 4.2. Caracterização física e química dos produtos farináceos do eixo e pívide da jaca (<i>Artocarpus heterophyllus</i> Lam.). | 146 |
| Tabela 4.3. Caracterização física e química dos produtos farináceos da casca de jaca (<i>Artocarpus heterophyllus</i> Lam.) obtidas por secagem em estufa e FMO..... | 148 |
| Tabela 4.4. Parâmetros dos modelos ajustados a isothermas de adsorção de água das farinhas de casca de jaca (<i>Artocarpus heterophyllus</i> Lam.) submetidas a secagens em estufa a 60 °C e FMO. | 151 |

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| 1. CONSIDERAÇÕES GERAIS..... | 19 |
| Capítulo 1 | 21 |
| 1.1 INTRODUÇÃO..... | 22 |
| 1.2 OBJETIVOS | 24 |
| 1.2.1 Objetivo Geral | 24 |
| 1.2.2 Objetivos Específicos | 24 |
| 1.3 REFERENCIAL TEÓRICO..... | 25 |
| 1.3.1 <i>Artocarpus heterophyllus</i> Lam. | 25 |
| 1.3.1.1 Breve Caracterização Morfológica..... | 26 |
| 1.3.2 Propagações da Jaqueira..... | 30 |
| 1.3.3 Caracterização Física e Química dos Constituintes da Jaqueira..... | 31 |
| 1.3.4 Potencialidades dos Constituintes da Jaqueira | 31 |
| 1.3.5 Bioprodutos | 33 |
| 1.4 METODOLOGIA..... | 35 |
| 1.4.1 Seleção e Preparo da Matéria-Prima | 35 |
| 1.4.2 Análises Físicas | 35 |
| 1.4.2.1 Biometria | 36 |
| 1.4.2.2 Massa e Rendimento..... | 36 |
| 1.4.2.3 Teor de água | 36 |
| 1.4.3 Análises Químicas | 37 |
| 1.4.3.1 pH | 37 |
| 1.4.3.2 Resíduo Mineral Fixo (RMF) | 37 |
| 1.4.3.3 Determinação de Minerais..... | 37 |
| 1.4.3.4 Proteína Bruta (PB) | 38 |
| 1.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 39 |
| 1.5.1 Caracterização Física do Fruto de <i>Artocarpus heterophyllus</i> Lam. | 39 |
| 1.5.2 Caracterização química dos resíduos do fruto de <i>Artocarpus heterophyllus</i> Lam. | 42 |
| 1.6 CONCLUSÕES | 46 |
| REFERÊNCIAS | 47 |
| Capítulo 2 | 52 |
| 2.1 INTRODUÇÃO..... | 53 |
| 2.2 OBJETIVOS..... | 55 |

| | |
|---|----|
| 2.2.1 Objetivo Geral | 55 |
| 2.2.2 Objetivos específicos..... | 55 |
| 2.3 REFERENCIAL TEÓRICO..... | 56 |
| 2.3.1 Fermentação Semissólida (FSS)..... | 56 |
| 2.3.1.1 Parâmetros do Processo Fermentativo..... | 57 |
| 2.3.2 Enriquecimento proteico..... | 63 |
| 2.4. METODOLOGIA..... | 65 |
| 2.4.1 Substrato | 65 |
| 2.4.2 Biorreator..... | 66 |
| 2.4.3 Fermentação..... | 66 |
| 2.4.4 Micro-organismos..... | 66 |
| 2.4.5 Análises Físicas e Químicas | 67 |
| 2.4.5.1 Aumento Proteico (AP) | 67 |
| 2.4.6 Planejamento experimental..... | 67 |
| 2.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 69 |
| 2.5.1 Caracterização Física e Química da Levedura Utilizada no Processo de Enriquecimento Proteico..... | 69 |
| 2.5.2 Caracterização Física e Química dos Substratos Antes do Processo de Enriquecimento Proteico..... | 69 |
| 2.5.3 Caracterização Física e Química dos Substratos Durante o Processo de Enriquecimento Proteico..... | 71 |
| 2.5.3.1 Teor de Água (TA) | 71 |
| 2.5.3.2 pH | 73 |
| 2.5.3.3 Resíduo mineral fixo (RMF) | 74 |
| 2.5.3.4 Proteína Bruta (PB) | 75 |
| 2.5.3.5 Aumento Proteico (AP) | 76 |
| 2.5.4 Planejamento Experimental..... | 82 |
| 2.6 CONCLUSÕES | 87 |
| REFERÊNCIAS | 88 |
| Capítulo 3 | 94 |
| 3.1 INTRODUÇÃO..... | 95 |
| 3.2 OBJETIVOS..... | 97 |
| 3.2.1 Objetivo Geral | 97 |
| 3.2.2 Objetivos específicos..... | 97 |

| | |
|---|-----|
| 3.3 REFERENCIAL TEÓRICO..... | 98 |
| 3.3.1 Secagem..... | 98 |
| 3.3.2 Cinética de Secagem..... | 100 |
| 3.3.3 Modelos matemáticos..... | 102 |
| 3.4. METODOLOGIA..... | 106 |
| 3.4.1 Cinética de Secagem em Estufa..... | 106 |
| 3.4.1.1 Modelos Matemáticos..... | 107 |
| 3.4.1.2 Obtenção de Produto Farináceo A Partir dos Resíduos da Jaca por Secagem Convectiva..... | 108 |
| 3.4.2. Mapeamento Térmico do FMO..... | 108 |
| 3.4.3 Calibração da Potência Real de Trabalho do FMO..... | 110 |
| 3.4.4 Verificação da Reprodutibilidade dos Resultados Obtidos Utilizando o FMO..... | 110 |
| 3.4.5 Cinética de Secagem em Forno de Micro-Ondas (FMO)..... | 111 |
| 3.4.5.1 Obtenção de Produto Farináceo A Partir da Secagem da Casca de Jaca em FMO.... | 111 |
| 3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 112 |
| 3.5.1 Cinética de Secagem em Estufa..... | 112 |
| 3.5.1.1 Obtenção do Produto Farináceo por Secagem Convectiva..... | 118 |
| 3.5.2 Mapeamento Térmico do Forno de Micro-Ondas (FMO)..... | 119 |
| 3.5.2.1 Mapeamento por Meio da Secagem de Solução Aquosa de CoCl_2 | 119 |
| 3.5.2.2 Mapeamento Através da Verificação da Temperatura da Água..... | 120 |
| 3.5.3 Calibração da Potência Real de Trabalho do FMO..... | 121 |
| 3.5.4 Verificação da Reprodutibilidade dos Resultados Obtidos Utilizando o FMO..... | 123 |
| 3.5.5 Cinética de Secagem em FMO..... | 124 |
| 3.5.6 Obtenção da Farinha A Partir da Secagem da Casca de Jaca em FMO..... | 125 |
| 3.6 CONCLUSÕES..... | 127 |
| REFERÊNCIAS..... | 128 |
| Capítulo 4 | 134 |
| 4.1 INTRODUÇÃO..... | 135 |
| 4.2 OBJETIVOS..... | 137 |
| 4.2.1 Objetivo Geral..... | 137 |
| 4.2.2Objetivos Específicos..... | 137 |
| 4.3. REFERENCIAL TEÓRICO..... | 138 |
| 4.3.1 Aproveitamento de Resíduos Agroindustriais..... | 138 |
| 4.3.2 Isotermas de Adsorção de Água..... | 139 |

| | |
|--|-----|
| 4.3.2.1 Modelos Matemáticos para Ajuste das Isotermas | 141 |
| 4.4 METODOLOGIA..... | 143 |
| 4.4.1 Matérias-Primas..... | 143 |
| 4.4.2 Caracterizações Físicas e Químicas..... | 143 |
| 4.4.2.1 Sólidos Solúveis Totais (SST)..... | 143 |
| 4.4.2.2 Cor | 144 |
| 4.4.2.3 Isotermas de Adsorção de Água | 144 |
| 4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 146 |
| 4.5.1 Caracterização Físicas e Químicas dos Produtos Farináceos dos Resíduos de Jaca (<i>Artocarpus heterophyllus</i> Lam.) | 146 |
| 4.5.2 Caracterização Física e Química dos Produtos Farináceos do Resíduo Casca de Jaca (<i>Artocarpus heterophyllus</i> Lam.) | 148 |
| 4.5.3 Isotermas de Adsorção de Água | 151 |
| 4.6 CONCLUSÃO..... | 155 |
| REFERÊNCIAS | 156 |
| 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS | 162 |
| REFERÊNCIAS | 163 |

CONSIDERAÇÕES GERAIS

1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

A fruticultura brasileira apresenta um grande potencial de competitividade e vem ganhando oportunidades de inserção no mercado mundial devido às melhorias na qualidade e na produção do setor (CARVALHO; CUNHA FILHO, 2003), considerando que é o terceiro maior produtor mundial de frutas (ANUÁRIO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 2013).

Dessa maneira, estudos de aproveitamentos alternativos com intenção de incrementar o uso industrial do fruto da jaqueira (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) de forma que promova a sustentabilidade alimentar e agrícola é necessária, valorizando assim a produção e o consumo desta fruta (PRETTE, 2012). Pelizer, Pontieri e Moraes (2007) mostraram a urgência de estudos que visem o aproveitamento de resíduos de processamento de frutas para serem incluídos na alimentação, visto que os maiores teores de vitaminais e sais minerais estão presentes nas cascas de frutos.

Estudos científicos são encontrados sobre o desenvolvimento de produtos alimentícios a partir da jaca, e a grande maioria referem-se a estudos utilizando a parte comestível caracterizada pela polpa (SOUZA, 2007; PRETTE, 2012; OLIVEIRA et al., 2014). É notável a pequena quantidade de trabalhos que retratem a valorização e o desenvolvimento de alternativas sustentáveis capazes de explorar o uso racional dos resíduos da jaqueira, com finalidades para a geração e complemento de renda da população produtora do fruto.

Portanto, um aproveitamento racional e eficiente desse resíduo poderá dar resultados satisfatórios na produção de alimentos e rações, contribuindo também para minimizar os problemas de perdas na industrialização dos frutos tropicais.

O objetivo deste trabalho foi estudar a utilização de resíduos de jaca no desenvolvimento de produtos alternativos. Foi realizado o enriquecimento proteico desses resíduos por fermentação semissólida para obtenção de produto destinado à ração animal e à elaboração de produto farináceo, por dois métodos de secagem, visando seu possível uso na alimentação humana.

O presente trabalho encontra-se estruturado em capítulos. No capítulo 1 é apresentada a caracterização física e química da jaca *in natura* e seus resíduos. O capítulo 2 descreve a utilização desses resíduos em processo biotecnológico como perspectiva para produção de ração animal. Capítulo 3 apresenta o estudo do processamento farináceo a partir de resíduos de jaca submetidos a diferentes métodos de secagem. No Capítulo 4 é apresentado o estudo comparativo da composição física e química dos produtos farináceos. Em seguida, são

expostas as considerações finais do trabalho relacionadas à utilização dos resíduos de jaca no desenvolvimento de novos produtos que constou nos capítulos. E, por fim, as referências utilizadas nas considerações gerais deste trabalho.

Capítulo 1

CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA DE JACA *IN NATURA* E SEUS RESÍDUOS

1.1 INTRODUÇÃO

As frutas *in natura* são atrativas para o consumidor pelo valor nutricional e pela boa qualidade de seus produtos. As características físicas referentes à aparência, cor, tamanho, forma da casca e as características químicas relacionadas à textura, sabor, cheiro e o teor nutricional, também são importantes fatores de qualidade à comercialização e uso da fruta no desenvolvimento de bioprodutos (SILVA et al., 2012).

Artocarpus heterophyllus Lam. é uma árvore conhecida como jaqueira, de origem indiana (BALIGA et al., 2011). Ocorrendo em outras regiões, são comuns na região litorânea do Brasil, que se estende do sul da Bahia até a Paraíba (DÓREA et al., 2013). A jaqueira é capaz de produzir, aproximadamente, 100 frutos em um curto período de tempo, compreendendo de dezembro a abril (SOUZA et. al., 2009).

Rica em nutrientes, a jaca é caracterizada por seu aroma característico e sua polpa amarela adocicada que é consumida quase em sua totalidade na forma *in natura*. Quando bioprocessada, a polpa pode ser diversificada em doces, polpas, bebidas e sucos (PRETTE, 2012). A diversidade de produtos que poderão ser processados para a utilização no mercado alimentício, agroindustrial e medicinal, torna esta espécie de interesse econômico.

Além da importância alimentícia, a jaqueira é de interesse agroflorestal e medicinal. As suas partes aéreas e subterrâneas apresentam diversidades metabólicas necessárias para bioatividades importantes para a pesquisa científica. Dentre as bioatividades, pode-se destacar: anti-inflamatória, hipoglicemiante, despigmentante, antioxidante, anti HIV-I e antiagregante (PEREIRA; KAPLAN, 2013).

Nas práticas agroflorestais, a árvore é capaz de estabilizar o solo evitando possíveis erosões, proporcionar alimento e sombra para animais devido à grande produção de frutos, e madeira, de ótima qualidade, em longo prazo (OLIVEIRA, 2009). Por apresentar elevado teor de amido, as sementes da jaca apresentam grande potencial para a extração (BARRETO, 2014), e também para a alimentação que poderão ser servidas cozidas ou torradas. Portanto, da planta podem ser utilizados as folhas, frutos, sementes, raízes e madeira para diversas finalidades.

Porém, segundo Silveira (2000), o estudo da cultura de jaqueira no nordeste paraibano ainda é escasso, pois sua comercialização é realizada de maneira informal, por meio da comercialização em feiras livres ou à beira de estradas. Seu consumo, portanto, é pouco

difundido se restringindo aos locais de produção, gerando uma grande quantidade de resíduos agrícolas.

Diante das diversas aplicações úteis da polpa das frutas e do desperdício gerado pelos resíduos, uma das formas de agregar valor ao fruto é investir no desenvolvimento tecnológico da produção e conservação de produtos alimentícios obtidos a partir destes resíduos. Inovação no desenvolvimento de produtos com intenção de incrementar o uso industrial da jaca a fim de aproveitá-la de forma que promova a sustentabilidade alimentar e agrícola é necessária, valorizando assim a produção e o consumo desta fruta.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Caracterizar física e quimicamente jacas *in natura* (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) e seus resíduos, visando estabelecer suas potencialidades como matéria-prima no desenvolvimento de novos produtos.

1.2.2 Objetivos Específicos

Efetuar a caracterização física da jaca *in natura*;

Determinar a composição física e química dos resíduos da jaca (casca, eixo e pívide).

1.3 REFERENCIAL TEÓRICO

1.3.1 *Artocarpus heterophyllus* Lam.

Artocarpus heterophyllus Lam. pertence à classe Equisetopsida, ordem Rosales, família Moraceae, e é denominada como jaqueira, cujo fruto chama-se jaca. Moraceae é constituída por cerca de 50 gêneros compreendendo, em torno, de 1550 espécies distribuídas predominantemente nas regiões tropicais e subtropicais, e as principais espécies de interesse econômicas e representantes do gênero *Artocarpus* são a fruta-pão (*Artocarpus altilis* (Parkinson) Fosberg) e a jaca (BALIGA et al., 2011).

Considerada uma espécie de origem indiana, o termo jaca vem do malaialo: *chakha* (BALIGA et al., 2011), no entanto, pode ser conhecida por outros nomes populares utilizados em vários dialetos indianos e em outros países (PRAKASH et al., 2009). A jaqueira é considerada a árvore mais ampla e útil do gênero *Artocarpus* (ELEVITCH; MANNER, 2006), produzindo a maior de todas as frutas comestíveis nascidas em árvore, sendo bastante rica em nutrientes. Seu consumo, porém, é pouco disperso se resumindo aos locais de produção (PRAKASH et al., 2009).

No Brasil, foi introduzida e difundida durante o século 18, adaptando-se às condições edafoclimáticas, recebendo, então, a classificação de *Artocarpus brasiliensis* Ortega (GOMES, 1977) por taxonomistas botânicos brasileiros por a considerarem espécie nativa (PRETTE, 2012).

De fácil manejo, requer ambientes de clima quente, com alto índice pluviométrico, além de solos profundos, permeáveis e com boa fertilidade (FONSECA, 2010). Segundo Dórea et al. (2013) e Romaniuc Neto et al. (2015), no Brasil, a jaqueira encontra-se bem distribuída e adaptada, ocorrendo nas regiões sul, sudeste, norte e nordeste, sendo nesta última mais abundante do sul da Bahia até a Paraíba.

De acordo com as características fenotípicas e organolépticas como: o tamanho da árvore, a estrutura das folhas, a forma dos frutos, de idade de frutificação, a qualidade da polpa, o seu tamanho, densidade dos carpelos do fruto, cor, textura, odor e qualidade (ELEVITCH; MANNER, 2006), verificam-se diversidades de jaca devido à forma de reprodução da jaqueira. Como a fecundação é feita por polinização cruzada e propagação, principalmente, de sementes (BALIGA et al., 2011), distinguem-se, atualmente, três variedades de jaca. Jaca-dura ou crocante - apresenta os maiores frutos e bagos rígidos, jaca-

mole possuem frutos menores, com menos látex, bagos moles e doces e jaca manteiga - os bagos apresentam-se adocicados e de consistência intermediária, ocorrem predominantemente no estado do Rio de Janeiro (SECRETARIA DE AGRICULTURA, IRRIGAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA DO ESTADO DA BAHIA, 2004).

As jacas duras e moles são facilmente distinguíveis tanto pelo tamanho e forma dos carpelos do fruto como pelo aroma. A polpa do fruto é altamente perecível e, portanto, acarreta prejuízos. Isso causa preocupação em se desenvolver processos que sejam eficientes, simples e de custos acessíveis a fim de um aproveitamento máximo do fruto e de minimizar as perdas (OLIVEIRA, 2009).

1.3.1.1 Breve Caracterização Morfológica

A. heterophyllus Lam. (Figura 1.1A) possui arquitetura típica de copa cônica ou piramidal quando são jovens, e tornam-se espalhadas quando a planta atinge a fase adulta. É perene, pode atingir de 8 a 25 m de altura, apresenta o tronco cilíndrico (Figura 1.1B), variando de 30 a 80 cm (ELEVITCH; MANNER, 2006), ramificado apresentando canais de látex resinoso, pegajoso e branco (FONSECA, 2010) e sua casca é grossa com a superfície verrugosa (PRETTE, 2012).

Figura 1.1. Arquitetura típica de *Artocarpus heterophyllus* Lam. (A). Detalhe do tronco (B).



Fonte: (Kwan, 2010).

Apresenta folhas (Figura 1.2A) simples, alternas, inteiras, de coloração verde-escura, não apresentam pêlos ou tricomas, lustrosas e rígidas, de formato oval, globosa ou elíptica e que podem vir a ser lobadas (Figura 1.2B), quando as folhas ainda são jovens. São fixadas por um pecíolo (Figura 1.2C) e sua nervação é do tipo broquidódroma, ou seja, possui nervuras entrelaçadas (Figura 1.2D) (JAGADEESH et al., 2007; FONSECA, 2010; FERREIRA et al., 2013).

Figura 1.2. Folhas da jaqueira *Artocarpus heterophyllus* Lam. (A). Folha jovem lobada (B). Pecíolo curto para fixação da folha (C). Nervação broquidódroma da folha (D).



Fonte: Morton (2010).

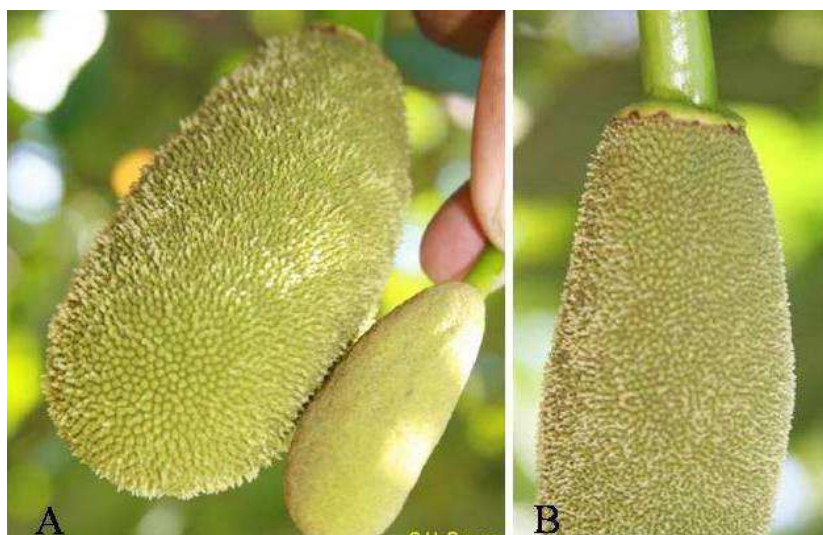
A. heterophyllus Lam. possui flores reunidas em inflorescências unissexuais (Figura 1.3A). Estas, por sua vez, apresentam-se em forma de espiga, com a presença de dois tipos, femininas e masculinas, ou seja, uma espécie vegetal monóica. Estão dispostas nos ramos mais grossos e no tronco (RUBBO; GASPARETTI, 1985; TRINDADE, 2005; FONSECA, 2010).

A inflorescência, do tipo, masculina contém, em torno, de 10 a 15 flores por ramos jovens, são pequenas, densas e cilíndricas, medindo, aproximadamente, de 2 a 4 cm de espessura e 5 a 10 cm de comprimento, e são as primeiras a florescerem. As flores masculinas

possuem o cálice com dois lóbulos e único estame (DONADIO; NACHTIGAL; SACRAMENTO, 1998; OLIVEIRA, 2009; FONSECA, 2010; PRETTE, 2012).

As inflorescências femininas (Figura 1.3B) são encontradas no tronco e ramos grossos e são, geralmente, maiores, do tipo elíptico ou arredondado, mais denso quando comparadas com as masculinas, medindo de 5 a 8 cm de comprimento e 3 a 4 cm de largura. Possuem cálice tubular, com o ovário estendendo-se em um estilete e um estigma claviforme (BALIGA et al., 2011; OLIVEIRA, 2009; FONSECA, 2010)

Figura 1.3. Inflorescência feminina e masculina (A). Inflorescência feminina apresentando flores maiores (B).



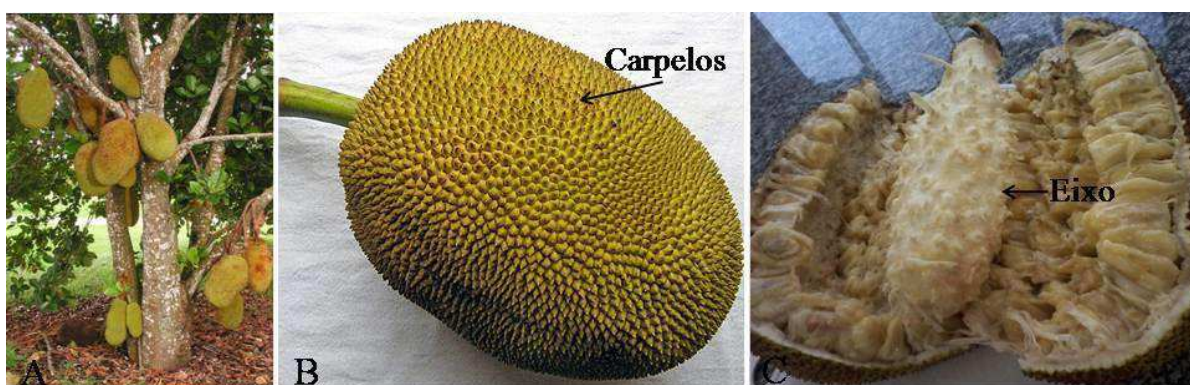
Fonte: Brown e Crane (2014).

Dependendo da região em que se encontra, a jaqueira florescerá todo o ano, encontrando em uma única árvore, frutos em todas as fases de desenvolvimento (LEÓN, 1987; FONSECA, 2010). Em outras regiões, segundo Lordêlo (2001), o início da floração ocorre no mês de abril até meados de julho.

O fruto de *A. heterophyllus* Lam. é sustentado pelas ramificações principais e pelo tronco (Figura 1.4A), apresentam formato oval, alongado ou, até, globoso. Apresenta, em média, peso variando de 2,5 a 60 kg, medindo de 12 a 90 cm de comprimento e 13 a 50 cm de diâmetro (ELEVITCH; MANNER, 2006; GOMES, 2007). Desenvolvem-se, no máximo, de 180 a 200 dias (FONSECA, 2010), e o amadurecimento da jaca envolve a mudança da cor e textura da casca e polpas, ao cheiro, gosto e no acúmulo de açúcares solúveis, que adoçam o fruto (GONZAGA-NETO; SOARES, 1994; PRETTE, 2012).

A jaca é um fruto composto, ou seja, origina-se a partir de ovários amadurecidos de muitas flores de uma inflorescência, desenvolvendo-se unidas no mesmo receptáculo, dando origem a uma infrutescência. Além disso, é do tipo sincarpo, uma vez que é o resultado da união de vários frutos simples interligados em torno de um eixo central (eixo de inflorescência) (Figura 1.4C) (RUBBO; GASPARETTI, 1985; PRAKASH et al., 2009; FONSECA, 2010).

Figura 1.4. Frutos de *Artocarpus heterophyllus* Lam. sustentados por ramificações (A). Protuberâncias da casca, denominadas de carpelos (B). Eixo central do fruto (C).

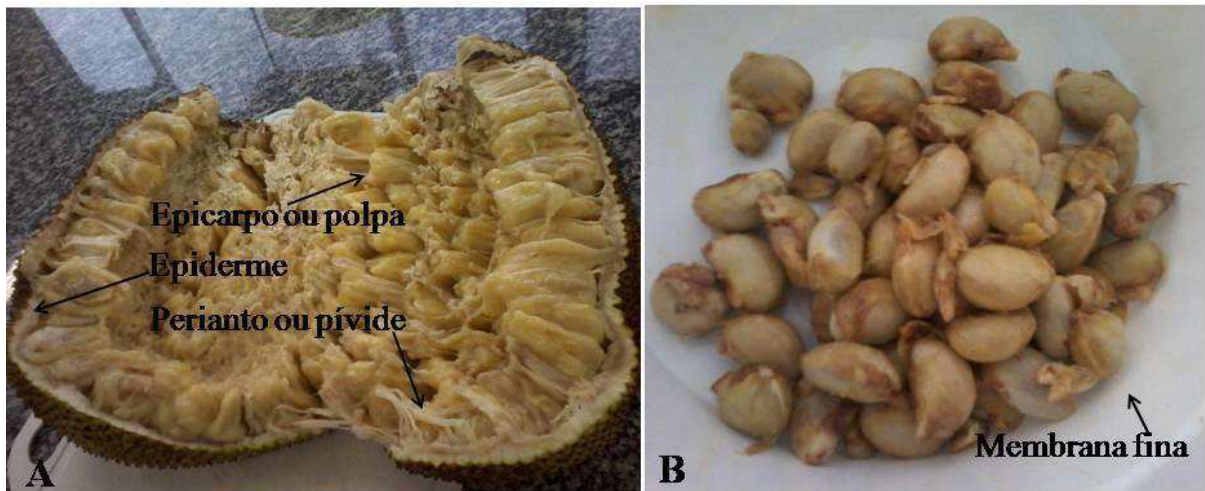


Fonte: Dados da pesquisa.

A parte externa, a casca, é verde ou amarela, dependendo da maturação. É coberta por protuberâncias pontiagudas, coriáceas e resistentes, cada um denomina-se carpelo (Figura 1.4B) (DONADIO et al.,1998; FEITOSA, 2007). A epiderme, de cor creme, é composta por um tecido parenquimático que produz fibras e canais laticíferos (Figura 1.5A). O perianto são as fibras soltas que recobrem os verdadeiros frutos, chegam a medir até 6 cm de comprimento e 5 a 8 mm de largura (OLIVEIRA, 2009). Há relatos na literatura que o perianto são as flores não fecundadas, e são comumente chamados de pívide (Figura 1.5A). O epicarpo é adocicado, amarelo e carnoso, protege a semente, e também é chamado de polpa ou bago (Figura 1.5A) (LEÓN, 1987; SAIRAEB, 2004; FONSECA, 2010; PRETTE, 2012).

As sementes (Figura 1.5B) são resistentes, castanho claro, arredondadas, medem de 2 a 3 cm de comprimento e 1 a 1,5 cm de diâmetro, envolvidas por uma membrana fina e esbranquiçada. Também são conhecidas por caroços. Já foram encontradas em uma única jaca até 500 sementes e dependendo das condições em que são mantidas, podem ser armazenadas (ELEVITCH; MANNER, 2006; PRAKASH et al.,2009).

Figura 1.5. A infrutescência, jaca, e seus constituintes (A). Membrana fina que protege a semente da jaca (B).



Fonte: Dados da pesquisa.

1.3.2 Propagações da Jaqueira

A principal forma de propagação da jaqueira se dá pela reprodução sexuada, ou seja, por sementes, que visa aumentar a expressiva diversidade genética (CARVALHO, BORGES, TEIXERA, 2009). Outros métodos, como a propagação vegetativa, são recomendados para a comercialização desta espécie. Na literatura, há vários estudos sobre a aplicação de diferentes métodos, por exemplo, de enxertia em jaqueira. Segundo Haq (2006), os métodos de propagação vegetativa por enxertia variam de acordo com o país.

Para Carvalho, Borges e Teixeira (2009), no Brasil, a utilização de enxertia por garfagem, consiste em fixar um pedaço de galho no caule de outro vegetal, de forma que o ramo se desenvolva. Por ser lactescente, a jaqueira pode ser de difícil enxertia, mas nesse método houve expressivo sucesso. Outros autores indicam a enxertia pelo método de borbulhia.

Já a diversidade de forma, tamanho, cor, sabor, odor e textura observada nos frutos da jaqueira podem ser ocasionados pela polinização cruzada, que se dá pela transferência dos grãos de pólen das anteras para o estigma das flores e, posteriormente, desenvolvimento do fruto. Apesar de ser uma espécie monóica, as flores de *A. heterophyllus* estão dispostas separadamente em inflorescências masculinas e femininas, possibilitando o transporte de pólen entre indivíduos. As flores, então, são polinizadas principalmente por insetos e pelo vento (LEÓN, 1987; ELEVITCH; MANNER, 2006; PRETTE, 2012).

1.3.3 Caracterização Física e Química dos Constituintes da Jaqueira

As condições de cultivo, a diversidade genética, e as condições de produção, são fatores que acarretam alterações físicas e fisiológicas podendo influenciar a qualidade dos frutos. Os frutos *in natura* também diferem dos frutos processados quanto à avaliação física e química, mas apresentam-se similar quanto à qualidade sensorial (GODOY; MATOS; SANTOS, 2010; PRETTE, 2012).

Estudos mostram que os resultados representantes das partes básicas (casca, polpa e semente) que constitui o fruto da jaqueira são similares das variedades moles e duras. Carvalho, Borges e Teixeira (2009) avaliaram um total de 270 frutos para os caracteres físicos e constataram-se que há diferenças para a maioria dos caracteres estudados. Observaram que a casca é um resíduo predominante representando, em média, valor superior a 50 % do peso do fruto. Quanto à avaliação química, a polpa da jaca apresentou, em média, valores para o teor de água (TA) de 73,58 %, pH de 5,01, acidez titulável (AT) de 0,31 % de ácido cítrico, 0,86 % de cinzas e de 25,81° Brix.

Um estudo realizado por Oliveira, Godoy e Borges (2009) a fim de elaborar um bioproduto por meio do processo de desidratação, avaliaram as propriedades físicas, físico-químicas e sensoriais do produto obtido. Para eles, o resíduo da jaca composto por casca, caroço e pívide representa 69 % e a polpa *in natura* caracteriza mais de 30 % em relação à massa do fruto. Os estudos realizados por Elevitch e Manner (2006) com culturas de jaqueira provenientes do Havaí, mostraram que a porcentagem de polpa oscilou entre 32 e 41 % por fruto.

Na literatura, há vários estudos quanto à composição de macro e micronutrientes da polpa da jaca *in natura* variedade mole por 100 g, e a grande maioria constata que a polpa é energética e bastante rica, principalmente em carboidratos, cálcio, ferro, potássio, vitamina A, riboflavina (B2), niacina (B3) e ácido ascórbico. (SILVEIRA, 2000; SAIRAEB, 2004; AFISJ, 2011; BALIGA et al., 2011; PRETTE, 2012).

1.3.4 Potencialidades dos Constituintes da Jaqueira

Por ser considerada uma árvore frutífera, o interesse pela *A. heterophyllus* sobre suas diversas potencialidades se deu quando se associou aos benefícios em diversos setores alimentícios, agroindustriais e medicinais. As diferentes partes que constitui essa espécie

possuem aplicações relevantes para serem estudadas (JAGADEESH et al., 2007; JAGTAP, BAPAT, 2010; SWAMI et al., 2012).

Estudos apontam que a raiz, após o ponto de fervura, é capaz de regular a asma, diminuir a febre e diarreia. Segundo Gomes (2007), as folhas da jaqueira apresentam flavonóides com ações hipoglicêmicas e, portanto, são eficientes no combate à diabetes. Outros estudos também mostram a eficácia para as potencialidades curativas para a febre, furúnculos e doenças de pele. O látex, proveniente dos canais laticíferos, também possui efeitos terapêuticos, uma vez que é útil no tratamento de problemas oftalmológicos e faringite (HAQ, 2006; BALIGA et al., 2011; SWAMI et al., 2012).

O fruto da jaqueira possui substâncias como os antioxidantes capazes de auxiliar na preservação contra radiações UV, e ainda apresenta efeito antienvhecimento da pele, pois diminuem ou neutralizam a circulação de radicais livres (JAGTAP; BAPAT, 2010; BALIGA et al., 2011). Contêm ainda outros fitonutrientes, como as lignanas, isoflavonas e saponinas. Estas são benéficas à saúde, pois são capazes de prevenir a pressão alta, úlceras, perda da massa óssea e combater câncer, por exemplo, de cólon (JAGADEESH et al., 2007; PRAKASH et al., 2009; SWAMI et al., 2012).

Dentre os minerais que participam de sua constituição, pode-se destacar o potássio que atua no melhoramento muscular e nervoso, ajuda na redução da pressão sanguínea e revertem efeitos do sódio que aumentam a pressão arterial e afetam o coração e vasos sanguíneos. Assim, o fruto auxilia na prevenção de doenças cardíacas e derrames. O ferro auxilia na prevenção da anemia e na circulação sanguínea. O cobre é importante no metabolismo da glândula tireóide, pois produz e absorve hormônios sendo, portanto, uma ótima fonte desse mineral. O magnésio auxilia na absorção do cálcio, para o fortalecimento ósseo e evitando doenças, como a osteoporose e a artrite (BALIGA et al., 2011).

Contêm vitamina A que protege os olhos dos raios UV e previne a catarata. Devido ao seu efeito antioxidante, é eficaz para evitar a degeneração da retina. Também contém a niacina, vitamina B3, responsável pelo metabolismo energético, nervoso e a síntese de alguns hormônios. Já a vitamina C ou ácido ascórbico é capaz de ajudar a fortalecer o sistema imunológico e aumentar a capacidade de absorção do ferro (PRAKASH et al., 2009; SWAMI et al., 2012).

Por ser rica em fibras, auxilia no funcionamento intestinal e, também, na prevenção do câncer de cólon, pois a jacalina que é uma lectina encontrada na semente, possui ação anti-proliferativa sobre células de câncer de cólon (BARREIRA, 2004; JAGTAP; BAPAT, 2010;

SWAMI et al., 2012). A polpa adocicada é bastante rica em frutose e sacarose, por isso, é dita uma fruta energética.

As sementes, por sua vez, apresentam efeitos afrodisíacos e são utilizados nos desarranjos do intestino. Estudos realizados constataram que a jacalina é capaz de bloquear a ação do vírus HIV, causador da AIDS, pois atua nos linfócitos (COSTA, 1996; BALIGA et al., 2011). Também se descobriu outra substância, a lecitina KM+, capaz de minimizar os efeitos de queimaduras (FONSECA, 2010).

1.3.5 Bioprodutos

A fruticultura destaca-se no mercado mundial pelo valor nutricional e qualidade de seus produtos processados, cujos beneficiamentos resultam em quantidades consideráveis de resíduos. O fruto da jaqueira pode gerar uma grande quantidade de resíduos, cerca de 72% (SOUSA et al., 2015).

A polpa do fruto é a parte comestível mais utilizada, podem ser considerados resíduos do fruto as partes: casca, eixo, pívide e sementes. O aproveitamento desses resíduos deve ser explorado, visando seu uso em diversos setores alimentícios e agroindustriais, possibilitando o bom emprego deste material e, menor geração de resíduos (SILVEIRA, 2000).

Segundo Bomfim (2003), o eixo e as sementes da jaqueira muitas vezes desperdiçada, podem ser utilizadas na culinária para o preparo, por exemplo, de refogados e saladas. O eixo, assim como as sementes, é bastante conhecido nas práticas culinárias exóticas baianas.

Segundo Silva et al. (2009), a prática de oficinas em comunidades produtoras de jaca, visando esclarecer o beneficiamento de excedentes e o desenvolvimento de produtos a partir do fruto, leva a uma alternativa sustentável que poderá prover a diminuição de impactos e evitar o desperdício, além de complementar a renda familiar da comunidade produtora por meio da produção e comercialização de produtos artesanais derivados da jaca.

O aproveitamento do resíduo da casca mais pívide pode ser empregado na produção de rações, pois há estudos que relatam seu alto teor proteico e a presença de minerais, importantes para o processo de preparação de alimentos para animais (FONSECA, 2010).

Prette (2012) estudou o emprego do processo de secagem para polpa e resíduos de jaca para avaliar um possível aproveitamento na indústria. Os produtos alimentícios foram formulados a partir da polpa, sementes, pívide e eixo central, e sugerem o aproveitamento e

processamento da jaca e seus constituintes, podendo ser repetido pelas populações que cultivam esta fruta.

Estudos científicos são encontrados sobre o desenvolvimento de produtos alimentícios a partir da jaca, e a grande maioria referem-se a estudos utilizando a parte comestível caracterizado pela polpa. É notável a pequena quantidade de trabalhos que retratem a valorização e o desenvolvimento de alternativas sustentáveis capazes de explorar o uso racional dos resíduos da jaqueira, com finalidades para a geração e complemento de renda da população produtora do fruto.

1.4 METODOLOGIA

Os experimentos foram conduzidos no Laboratório de Bioquímica e Biotecnologia de Alimentos, Centro de Educação e Saúde (CES) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).

1.4.1 Seleção e Preparo da Matéria-Prima

Foram adquiridos 15 frutos da jaqueira (*A. heterophyllus* Lam.) variedade mole, procedentes do comércio local do município de Lagoa Seca-PB, durante o período de março a junho de 2015. Foram utilizados frutos maduros, sendo o estágio de amadurecimento determinado pela aparência visual da casca verde escurecida e pela consistência macia, além do cheiro característico.

Os frutos, inicialmente, foram lavados com detergente neutro em água corrente e as sujidades removidas por meio de escova. Posteriormente, imersos em água clorada (200 ppm) por um período de 15 min e enxaguados em água corrente. Após o procedimento de lavagem e sanitização, foram secos e cortados com auxílio de faca aço inoxidável. A polpa e os resíduos (cascas, eixo, pívide e sementes) foram separados e pesados individualmente. A Figura 1.6 mostra os resíduos casca (1.6A), eixo (1.6B) e o pívide (1.6C) da jaca.

Figura 1.6. Resíduos da jaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam.). Casca (A). Eixo (B). Pívide (C).



Fonte: Dados da pesquisa.

1.4.2 Análises Físicas

As análises físicas foram realizadas em amostras de jacas *in natura*.

1.4.2.1 Biometria

A biometria dos frutos foi determinada pela medida do comprimento, da circunferência e do diâmetro. A medida do comprimento foi tomada entre o ápice e a inserção do pedúnculo do fruto e a circunferência foi verificada na porção mediana do fruto, ambos determinados com o auxílio de fita métrica (Marca Starret, largura: 6 mm, comprimento: 1m, tipo de graduação S3B), e os resultados expressos em centímetro (cm).

O diâmetro dos frutos (cm) foi obtido a partir da conversão da medida da circunferência em diâmetro, segundo a Equação 1.

$$D = C/\pi \quad (1)$$

Em que:

D - diâmetro (cm);

C - circunferência (cm);

π - 3,141.

O formato dos frutos foi obtido em função da relação (R) entre comprimento e diâmetro, sendo $R \geq 1,5$, formato alongado, $1 \leq R < 1,5$, formato globoso (FONSECA, 2010).

1.4.2.2 Massa e Rendimento

A pesagem individual dos frutos, iniciando com a massa total, seguido pela determinação da massa da casca, eixo, pívide, polpa e sementes, foi realizada com intuito de quantificar os resíduos do fruto. O rendimento individual dos resíduos foi obtido pela relação percentual entre a massa do fruto inteiro e de seus respectivos componentes. As massas foram determinadas em balança digital (marca Balmak, modelo ELC-15, máx. 15 kg, mín. 100 g, e= 5 g) e, os resultados expressos em quilogramas (kg).

1.4.2.3 Teor de água

O teor de água (TA) das amostras foi determinado após secagem em estufa de esterilização e secagem (marca FANEM, modelo 315 SE) a 105° C, até peso constante, de

acordo com metodologia descrita em IAL (2008). O TA, expresso em base úmida (b.u.), foi calculado a partir da Equação 2.

$$TA (\%) = \frac{m_i - m_f}{m_i} \times 100 \quad (2)$$

Em que:

TA - teor de água (b.u), %;

m_i - massa inicial da amostra, g;

m_f - massa da amostra seca, g.

1.4.3 Análises Químicas

As análises químicas foram realizadas em amostras dos resíduos *in natura* (cascas, eixo e pívide).

1.4.3.1 pH

Foram utilizados 5 g de amostra em 50 mL de água destilada, contida em um béquer (em triplicata) para determinação do pH, através de medidas potenciométricas do líquido sobrenadante, em peagâmetro (marca Metrohm pH meter, modelo 744), conforme metodologia descrita em IAL (2008).

1.4.3.2 Resíduo Mineral Fixo (RMF)

Para a determinação do percentual de RMF ou cinzas foram pesados aproximadamente 5 g de amostra em cadinho de porcelana, que posteriormente foram incinerados em forno mufla a 550 °C, por 4 h ou até total queima da matéria orgânica, conforme metodologia descrita em IAL (2008). As determinações foram feitas em triplicatas.

1.4.3.3 Determinação de Minerais

Os minerais contidos no RMF foram identificados e quantificados por Espectrômetro de Fluorescência de Raios-X por Energia Dispersiva, o equipamento utilizado foi o Shimadzu EDX-720.

As amostras foram acondicionadas em cubetas cobertas por um filme de polipropileno de 5 μm de espessura e, posteriormente, submetidos ao vácuo. Foram utilizadas as seguintes condições de operação do equipamento: tensão do tubo de 15 KeV (Na a Se) e 50 KeV (Ti a U), com um colimador de 10 mm, e um detector de estado sólidos tipo Si (Li), com resfriamento por nitrogênio líquido. Os resultados do perfil de minerais das amostras foram expressos em %.

1.4.3.4 Proteína Bruta (PB)

O método Kjeldahl (TEDESCO et al., 1995) foi utilizado para determinação de proteína bruta (PB) das amostras secas. De acordo com Silva (1998) e Souza, Camarão e Rêgo (2000), este método é largamente utilizado em nível mundial e baseia-se na análise de nitrogênio total contido nas amostras, incluindo o nitrogênio proteico propriamente dito e outros compostos nitrogenados como ácido nucléicos, uréia, nitratos, etc. Este método, idealizado em 1883, tem sofrido numerosas modificações e adaptações, porém sempre se baseia em três etapas: digestão, destilação e titulação. O fator de conversão utilizado foi 6,25.

1.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

1.5.1 Caracterização Física do Fruto de *Artocarpus heterophyllus* Lam.

A Tabela 1.1 apresenta os valores da biometria dos frutos *in natura* de *A. heterophyllus* Lam. O comprimento dos frutos variou de 25 a 39,5 cm. A circunferência foi, em média, de 63,60 cm e o diâmetro médio calculado foi de 20,25 cm. A relação comprimento/diâmetro encontrada para as amostras foi de 1,62, indicando que os frutos apresentam tendência de formato alongado.

Os valores médios de comprimento e diâmetro encontrados neste trabalho foram próximos aos encontrados por Lôrdelo (2001) e Fonseca (2010). Lôrdelo (2001), ao caracterizar a cultura da jaqueira em Cruz das Almas-BA, obteve o valor de 28,82 cm de comprimento e 19,89 cm de diâmetro. Fonseca (2010) encontrou de 29,28 cm para o comprimento e 18,81 cm para o diâmetro do fruto da variedade mole.

Com relação ao formato dos frutos, o resultado encontrado está em conformidade ao obtido por Fonseca (2010), em que a maioria dos frutos das jaqueiras do tipo mole apresentou formato alongado.

Tabela 1.1 Características biométricas do fruto (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) *in natura*.

| Características | Valor Mínimo | Valor Máximo | Média* |
|------------------------------|--------------|--------------|-------------|
| Comprimento (cm) | 25,00 | 39,50 | 32,80 ± 4,2 |
| Circunferência (cm) | 50,50 | 70,00 | 63,60 ± 5,4 |
| Diâmetro (cm) | 16,08 | 22,30 | 20,25 ± 1,7 |
| Relação comprimento/Diâmetro | 1,15 | 2,02 | 1,62 ± 0,2 |

*Média de 15 amostras

Na Tabela 1.2 são apresentados os valores das massas dos frutos inteiro, assim como, as massas da casca, eixo central, pívide, polpa e sementes separadamente, com a finalidade de calcular a porcentagem correspondente a cada parte em relação à massa total do fruto.

O valor médio encontrado para a massa total do fruto foi de aproximadamente 5,51 kg, apresentando um desvio padrão de ± 1,14 kg. Estes resultados corroboram com Lôrdelo (2001) e Fonseca (2010), que encontraram valores médios de massa total de jacas de 4,72 e

5,05 kg, respectivamente. Porém, o resultado encontrado é inferior ao encontrado por Pereira (2007) que avaliou jacas da variedade mole, provenientes das cidades de Ilhéus e Itabuna na região Sul da Bahia, e registrou um valor médio de 7,13 kg.

Tabela 1.2. Características referentes à massa do fruto (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) e seus constituintes.

| Massa (kg) | Valor Mínimo | Valor Máximo | Valor Médio * | Rendimento (%) |
|-----------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------------|
| Casca | 0,668 | 2,852 | 1,488 ± 0,64 | 27,0 |
| Eixo Central | 0,190 | 0,610 | 0,442 ± 0,14 | 8,0 |
| Pívide | 0,644 | 2,220 | 1,311 ± 0,38 | 23,8 |
| Polpa | 0,600 | 2,798 | 1,322 ± 0,63 | 24,0 |
| Semente | 0,295 | 1,562 | 0,949 ± 0,37 | 17,2 |
| Total | 3,285 | 7,076 | 5,513 ± 1,14 | 100 |

* Média de 15 amostras

A massa total da jaca pode indicar a viabilidade de produção de frutos visando desde o processamento industrial até a comercialização em feiras locais, de acordo com o peso do fruto, conforme indicado por Fonseca (2010). Lôrdelo (2001) sugere que as jaqueiras que apresentam frutos de genótipos de interesse para o processamento e/ou industrialização, assim como, para o consumo *in natura*, devem ser explorados, pois apresentam potenciais econômico, alimentício e social.

A massa média encontrada para a casca da jaca foi de 1,48 kg, para o eixo foi de 0,44 kg, para o pívide foi de 1,31 kg, para a polpa foi de 1,32 kg e para as sementes foi de 0,94 kg. Dessa forma, pode-se afirmar que a massa total do fruto da jaca é constituída de aproximadamente 27 % de casca, 8 % de eixo, 24 % de pívide, 24 % de polpa e 17 % de sementes, conseqüentemente, os frutos da jaqueira *in natura* apresentam em média 76 % de resíduos (casca, eixo, pívide e sementes).

A porcentagem de polpas representa a parte comestível, por sua característica de aroma e sabor peculiar, são consumidas quase em sua totalidade sendo, inclusive, fontes para o investimento no processamento de doces, sucos, compotas, licores, etc. (LÔRDELO, 2001; PRETTE, 2012). Os outros constituintes são a parte não comestível, muitas vezes,

desperdiçados, gerando acúmulo no ambiente em que são descartadas. Porém, esses resíduos podem ser aproveitados na alimentação humana e na preparação de ração animal, pois são ricos em nutrientes. Segundo Bomfim (2003), o eixo e as sementes da jaca são utilizados na culinária baiana e, são considerados pratos exóticos.

Os resultados encontrados são semelhantes aos encontrados por Oliveira (2009), que obteve uma massa total média dos frutos de 5.710 g. Desse valor, 1.772 g (31%) correspondeu à massa de polpa e 3.937g (69%) foram provenientes da massa de resíduos. Lordêlo (2001) mostrou que o percentual de polpa encontrado foi de 30,49%, sendo também inferior ao da casca (50,26%), a semente representou 10,50% da massa do fruto e o pívide 8,74%. E Fonseca (2010), que obteve 35,97 % de polpa, 7,67 % de pívide, 12,72 % de sementes e 43,64 % de casca. Mesmo havendo uma variação nos valores dos rendimentos de cada constituinte do fruto, em todas as pesquisas relatadas, o percentual de resíduo é superior a 50% do peso total do fruto.

Elevitch e Manner (2006) descreveram características da jaca para cultivares do Havai e verificaram que a polpa do fruto representa entre 32 a 41 % da massa total e as sementes de 5 a 17 %. Prette (2012) destacou que a polpa, a parte mais apreciada e consumida, representa em média 30 % da massa fruto, sendo as cascas o constituinte predominante, representando aproximadamente 51 % da massa total deste fruto.

Pereira et al. (2007) avaliando a composição bromatológica e digestibilidade *in vitro* das duas variedades de jaca, constataram que para os dois tipos de jaca, o componente mais representativo da infrutescência foi a polpa, sendo 44 e 36 %, para as jaca dura e mole, respectivamente.

A Tabela 1.3 apresenta os valores médios de teor de água (TA) encontrado para os resíduos da jaca (casca, eixo central e pívide).

Tabela 1.3. Teor de água dos resíduos do fruto (*Artocarpus heterophyllus* Lam.).

| | Casca | Eixo central | Pívide |
|-------------------|--------------|---------------------|---------------|
| Teor de água (%)* | 81,70 ± 1,33 | 83,55 ± 1,69 | 82,64 ± 0,65 |

* Média de 15 amostras

O TA médio apresentado pela casca, eixo central e pívide do fruto foram muito próximo entre si, sendo: 81,70, 83,55 e 82,64 %, respectivamente. O resultado do TA para a

casca da jaca (73,58 %) obtido por Lôrdelo (2001) foi inferior ao encontrado neste estudo e Pereira et al. (2007) observaram valores de 82 %, semelhante ao valor obtido.

Pereira et al. (2007) apresentaram valores de 82,5 e 82,9 % para amostras de pívide e eixo floral mais pedúnculo de jaca mole, respectivamente.

1.5.2 Caracterização química dos resíduos do fruto de *Artocarpus heterophyllus* Lam.

A caracterização química dos resíduos da jaca *in natura*, representado pela casca e bagaço (eixo e pívide), é apresentada na Tabela 1.4.

Tabela 1.4. Características químicas dos constituintes do fruto (casca e bagaço) (*Artocarpus heterophyllus* Lam.).

| Características | Casca | Bagaço | |
|-------------------------------------|-------------|--------------|--------------|
| | | Eixo Central | + Pívide |
| pH | 5,42 ± 0,02 | 5,43 ± 0,00 | 5,63 ± 0,009 |
| Resíduo Mineral Fixo (%) | 3,92 ± 0,06 | 4,93 ± 0,04 | |
| Proteína bruta _(b,s) (%) | 6,56 | 8,31 | |

* Média de 15 amostras

De acordo com a Tabela 1.4, pode-se observar que as amostras do resíduo casca apresentaram pH de 5,42, resíduo mineral fixo (RMF) de 3,92 % e proteína bruta (PB) de 6,56 %.

Resultado semelhante para o pH também foi encontrado por Oliveira (2009) e Souza et al. (2009), o valor de pH para a casca da jaca *in natura* foi de 5,43 e 5,8, respectivamente. No entanto, Lemos et al. (2012) obtiveram um valor de pH de 4,70 quando avaliaram a jaca *in natura* variedade mole, inferior ao encontrado neste estudo.

O conteúdo de RMF obtido para as amostras de casca foi inferior ao encontrado por Pereira et al. (2007) de 5,24 % para amostras de casca da jaca do tipo mole. Souza (2008) estudou as propriedades de polpa de jaca e encontrou 3,71 % de RMF. Oliveira, Godoy e Borges (2011) encontraram 3,31 % para a polpa da jaca *in natura*. Essas variações para os teores de RMF podem ser causadas pela idade da planta, localidade onde foi plantada cada

variedade de jaqueira, que depende da fertilidade e composição do solo onde desenvolveram, e por não serem provenientes da mesma jaqueira (BORTOLATTO; LORA, 2008; LEMOS et al., 2012).

Com relação ao teor de PB presente na amostra de casca e expresso em base seca (b.s.), o resultado encontrado está inferior ao verificado por Pereira et al. (2007) de 7,78 % para o constituinte casca da jaca variedade mole. Valor semelhante foi citado por Oliveira, Godoy e Borges (2011) de 6,63 % para a polpa da jaca *in natura*.

A partir dos resultados da Tabela 4, observa-se que o valor de pH encontrado para o eixo central foi de 5,43 e para o pívide 5,63. Com relação aos valores de RMF e PB registrados para o bagaço, que foi constituído da mistura entre o eixo central e o pívide, tem-se 4,93 e 8,31 %, respectivamente.

Todos os resultados de pH encontrados para os constituintes da jaca estudados mantiveram-se próximos entre si. Baseado na classificação de Baruffaldi e Oliveira (1998), são considerados como produtos pouco ácidos (pH acima de 4,5) e ácidos (pH entre 3,7 e 4,5), respectivamente. Ainda segundo esses pesquisadores, o valor do pH interfere de maneira significativa no desenvolvimento de micro-organismos, e nos produtos pouco ácidos são susceptíveis ao crescimento de cepas de *Clostridium botulinum* que podem produzir toxinas, requerendo um tratamento térmico de 115,5 °C, ou maior, para obter um controle dos micro-organismos.

O conteúdo de RMF foi próximo entre os obtidos e o encontrado por Pereira et al. (2007) para o pívide, de 4,99 %. Para esses autores, o maior percentual de RMF foi para o pedúnculo mais eixo de 10,1 %.

De acordo com Pereira et al. (2007), o teor de menor valor proteico foi o pedúnculo mais eixo para a variedade mole de 4,73 %. Já o pívide, a PB foi de 7,48 %. Os valores médios para o teor proteico encontrado para os resíduos de jaca estão próximos do sugerido, em torno de 7 %, para fermentação ruminal, no entanto, necessita-se de outras fontes protéicas a serem fornecidas em conjunto de acordo com as necessidades dos ruminantes (PEREIRA et al., 2007).

Essas características químicas indicam a possibilidade de aproveitamento desses resíduos, através do desenvolvimento de novos produtos, como o suplemento nutricional (proteico, energético, vitamínico e mineral), solucionando o problema de acúmulo do resíduo e gerando um produto de valor agregado. Segundo Oliveira (2009), a jaca não é uma fruta

comum e preferencial a ser consumida, no entanto, apresenta características químicas semelhantes às frutas típicas e comuns encontradas no mercado.

Entre os 50 minerais contidos no organismo, somente 15 são indispensáveis aos processos metabólicos e por esta razão devem estar presentes na alimentação: Ca, P, Mg, K, Na, Cl, S, Fe, Mn, Cu, I, Co, Zn, Se e Mo. Os primeiros 7 elementos são denominados de macrominerais, pois são necessários aos animais em quantidades maiores. Os últimos oito são denominados microminerais, porque são necessários aos animais em pequenas quantidades (TOKARNIA; DÖBEREINER; PEIXOTO, 2000).

O resíduo mineral fixo é constituído por diferentes minerais, e a análise desses constituintes é de extrema importância. Os constituintes minerais da casca e do bagaço da jaca *in natura* são apresentados na Tabela 1.5.

Tabela 1.5. Minerais encontrados na casca e do bagaço do fruto (*Artocarpus heterophyllus* Lam.).

| Minerais (%) | Casca | Bagaço |
|--------------|-------|-----------------------|
| | | Eixo central + Pívide |
| K | 3,310 | 4,150 |
| P | 0,020 | 0,050 |
| Ca | 0,260 | 0,350 |
| Fe | 0,006 | 0,006 |
| Zn | 0,003 | 0,003 |
| S | 0,030 | 0,030 |
| Mg | 0,110 | 0,150 |
| Si | 0,060 | - |

Verificou-se que a casca possui elevada concentração de potássio (K), cálcio (Ca) e Magnésio (Mg) apresentando, 3,310, 0,260 e 0,110 %, respectivamente. Esses dados corroboram com o trabalho de Baliga et al. (2011) que verificaram que a jaca é bastante rica em sais minerais, como o Ca. Os outros componentes apresentam-se em menores porcentagens como o fósforo (P) de 0,020 %, ferro (Fe) de 0,006 %, zinco (Zn) de 0,003 %, enxofre (S) de 0,030 % e silício (Si) de 0,060 %.

O bagaço (eixo central e pívide) também apresentou elevada concentração de K, Ca e Mg apresentando, 4,150 , 0,350 e 0,150 %, respectivamente. Com menor porcentagem de P

(0,050 %). Os teores de Zn e S apresentaram a mesma porcentagem do resíduo casca (0,003 e 0,030%, respectivamente).

Segundo Lemos et al. (2012), no que diz respeito aos constituintes minerais a jaca mole estágio maduro apresentou expressivos valores de Ca e P, com destaque também para o conteúdo de ferro.

Os elementos minerais podem exercer quatro funções no organismo animal, conforme descreve Underwood e Suttle (1999): Estrutural, Fisiológica, Catalítica e Reguladora. Apesar desta separação, cada função não é exclusiva de um determinado elemento mineral, de forma que, um único mineral pode exercer mais de uma função específica assim como diversos minerais podem exercer uma única função quando em interação no organismo animal.

1.6 CONCLUSÕES

A massa total da jaca é constituída de aproximadamente 27 % de casca, 8 % de eixo, 24 % de pívide, 24 % de polpa e 17 % de sementes, o que corresponde a 76 % de resíduos (casca, eixo, pívide e sementes).

A casca da jaca *in natura* apresentou teor de água igual a 81,70%, pH de 5,42, resíduo mineral fixo de 3,92 % e proteína bruta de 6,56 %.

O eixo central do fruto apresentou teor de água de 83,55 % e pH de 5,43. No pívide encontrou-se teor de água de 82,64 % e pH de 5,63. O percentual de resíduo mineral fixo e de proteína bruta para o bagaço foi de 4,93 e 8,31 %, respectivamente.

REFERÊNCIAS

- AGRICULTURE AND FISHERIES INFORMATION SERVICE (AFISJ). **Jackfruit**. Department of Agriculture. (2011). Disponível em: <<http://www.cropsreview.com/growing-jackfruit.html>> Acesso em: 13 de abril de 2016.
- ANUÁRIO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA**, 2013. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta. Disponível em: <http://www.grupogaz.com.br/editora/anuarios/show/4333.html> Acesso em: 23 janeiro de 2016.
- BALIGA, M. S.; SHIVASHANKARA, A. R.; HANIADKA, R.; SOUZA, J.; BHATET, H. P. Phytochemistry, nutritional and pharmacological properties of *Artocarpus heterophyllus* Lam (jackfruit): A review. **Food Research International**, v. 44, n. 7, p. 1800- 1811, 2011.
- BARREIRA, M. C. R. **Pomada cicatrizante de semente de jaca**. 2004. Disponível em:< <http://noticias.universia.com.br/ciencia-tecnologia/noticia/2004/11/19/494906/pomada-cicatrizante-semente-jaca.pdf>> Acesso em: 15 de abril de 2016.
- BARRETO, G. B. C. **Desenvolvimento de biofilmes de amido de jaca com extrato de amora**. Trabalho de conclusão de curso, 34 f. Química Industrial, UEPB, Campina Grande-PB, 2014.
- BARUFFALDI, R.; OLIVEIRA, M. N. Fatores que condicionam a estabilidade de alimentos. In: BARUFFALDI, R.; OLIVEIRA, M. N. Fundamentos de tecnologia de alimentos. Ed. Atheneu, v. 3, cap. 2, p. 13-25, São Paulo-SP, 1998.
- BENGOZI, F. J.; SAMPAIO, A. C.; SPOTO, M. H. F.; MISCHAN, M. M.; PALLAMIN, M. L. Qualidades físicas e químicas do abacaxi comercializado na CEAGESP, São Paulo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 29, n. 3, p. 540-545, 2007.
- BOMFIM, J. **Fim do desperdício reduzirá a fome?** Jornal A Tarde, p.11, Salvador, 2003.
- BORTOLATTO, J.; LORA, J. Avaliação da composição centesimal do abacaxi (*Ananas comosus* (L.) merril) liofilizado e *in natura*. **Revista de pesquisa e extensão em saúde**, vol. 4, n. 1, 2008.
- BROWN, S. H.; CRANE, J. **Jackfruit: Pollination**. 2014. Disponível em: <http://www.growables.org/information/TropicalFruit/jackfruit.htm> Acesso em 02 de maio de 2016.
- CARVALHO, R. M.; CUNHA FILHO, M. H. Competitividade da Fruticultura Brasileira no Mercado Internacional. **Revista de Economia e Agronegócio**, v. 5, n. 4, p. 547-566, 2003.
- CARVALHO, P. C. L.; BORGES, A. J.; TEIXERA, C. A. Propagação assexuada da jaqueira (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) como ferramenta para conservação de clones de elite desta espécie. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 4, n. 2, p. 3002-3005, Porto Alegre, 2009.
- COSTA, L. C. **Viva melhor: com a medicina natural**. 1.ed. Editora Missionária, Itaquaquecetuba, SP, 1996.

DONADIO, L. C.; NACHTIGAL, J. C.; SACRAMENTO, C. K. **Frutas exóticas**. FUNEP. p. 112-114. Jaboticabal, 1998.

DÓREA, J. R. R.; PEREIRA, L. G. R.; FERREIRA, A. L.; SILVA, T. C.; AZEVÊDO, J. A. G.; GOUVÊA, V. N.; FRANCO, A. L. C. Composição bromatológica e dinâmica de fermentação da silagem de jaca. **Seminário: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 4, p. 1967-1976, 2013.

ELEVITCH, C. R.; MANNER, H. I. *Artocarpus heterophyllus* (jackfruit). **Species Profiles for Pacific Island Agroforestry**, p 1-17, 2006.

FEITOSA, R. M. **Processamento e armazenamento das amêndoas de jaca**. Dissertação, 92 p. Engenharia Agrícola, UFCG. Campina Grande, PB, 2007.

FERREIRA, M. H. G.; SILVA, J. C. R.; COSTA, V. B. S.; MENDONÇA, R. M. P. **Variação da nervação em folhas de sol e de sombra**. XIII Jornada de Ensino, Pesquisa e Extensão – JEPEX, UFRPE, Recife, PE, 2013.

FONSECA, V. J. A. **Caracterização, seleção e propagação vegetativa de genótipos de jaqueira**. Tese, 109 f. Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, UFRB, Cruz das Almas, BA, 2010.

GODOY, R. C. B.; MATOS, E. L. S.; SANTOS, G. P. Avaliação do efeito da temperatura de armazenamento na composição físico-química e sensorial de jaca dura minimamente processada. **Revista Ciências Agrárias**, v. 53, n. 2, p.117-122, 2010.

GOMES, R. P. **Fruticultura brasileira**. 3. ed. 448 p., São Paulo, Nobel, 1977.

GOMES, E. R. S. **Espécies exóticas invasoras em Unidades de Conservação da Cidade do Rio de Janeiro, RJ – Estudo da população de jaqueiras (*Artocarpus heterophyllus* L.) no Parque Natural Municipal do Mendanha, RJ**. Dissertação, 83 p. (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais) - Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2007.

GONZAGA NETO, L.; SOARES, J. M. **Acerola para exportação: aspectos técnicos da produção**. Coleção Frutex, Brasília: EMBRAPA-SPI, 42 p., 1994.

HAQ, N. **Fruits for the Future 10 – Jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*)**. Monographs, 192p. Centre for Underutilised Crops, University of Southampton, Southampton, UK, 2006.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ (IAL). **Métodos Físico-Químicos para Análise de Alimentos**. 4ª Ed., 1ª Ed. Digital, São Paulo, 2008.

JAGADEESH, S. L. REDDY, B. S.; SWAMY, G. S. K.; GORBAL, K.; HEGDE, L.; RAGHAVAN, G. S. V. Chemical composition of jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) selections of Western Ghats of India. **Food Chemistry**, v. 102, n. 1, p. 361–365, 2007.

JAGTAP, U. B.; BAPAT, V. A. *Artocarpus*: A review of its traditional uses, phytochemistry and pharmacology. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 129, n. 2, p. 142–166, 2010.

KWAN. *Artocarpus heterophyllus*. 2010. Disponível em:
<http://www.growables.org/information/TropicalFruit/jackfruit.htm> Acesso em 02 de maio de 2016.

LEMOS, D. M.; SOUSA, E. P.; SOUSA, F. C.; SILVA, L. M. M.; TAVARES, R. R. S. Propriedades físico-químicas e químicas de duas variedades de jaca. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 7, n. 3, p. 90-93, 2012.

LEÓN, J. **Botánica de los cultivos tropicales**. UCA, p 260-261. San José, 1987.

LORDÊLO, L. S. **Caracterização de jaqueiras (*Artocarpus heterophyllus* Lam), em Cruz das Almas-BA**. Dissertação, 64 p. Agronomia, UFBA, Cruz das Almas - BA, 2001.

MORTON, J. **Fruits of warm climates**. p. 58-64, 2010. Disponível em:
<http://www.growables.org/information/TropicalFruit/jackfruit.htm> Acesso em 02 de maio de 2016.

OLIVEIRA, L. F. **Efeito dos parâmetros do processo de desidratação de jaca (*Artocarpus heterophyllus*, Lam.) sobre as propriedades químicas, físico-químicas e aceitação sensorial**. Tese, 121 f. Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos, UFRRJ. Seropédica, RJ, 2009.

OLIVEIRA, L. F.; GODOY, R. L. O.; BORGES, S. V. Qualidade de jaca (*Artocarpus heterophyllus*, Lam.) desidratada sob diferentes condições de processo. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 14, n. 3, p. 241-248, Campinas, 2011.

PELIZER, L. H.; PONTIERI, M. H.; MORAES, I. O. Utilização de resíduos agroindustriais em processos biotecnológicos como perspectiva de redução do impacto ambiental. **Journal of Technology Management & Innovation**, v. 2, p. 118-127, 2007.

PEREIRA, L. G. R.; MAURÍCIO, R. M.; AZEVÊDO, J. A. G.; OLIVEIRA, L. S.; BARREIROS, D. C.; FERREIRA, A. L.; BRANDÃO, L. G. N.; FIGUEIREDO, M. P. Composição bromatológica e cinética de fermentação ruminal *in vitro* da jaca dura e mole (*Artocarpus heterophyllus*). **Livestock Research for Rural Development**, v. 19, n. 3, p. 7-12, 2007.

PEREIRA, V. J.; KAPLAN, M. A. C. *Artocarpus*: Um Gênero Exótico de Grande Bioatividade. **Floresta e Ambiente**, v. 20, n. 1, p. 1-15, 2013.

PRAKASH, O.; KUMAR, R.; MISHRA, A.; GUPTA, R. *Artocarpus heterophyllus* (Jackfruit): an overview. **Pharmacognosy Reviews**, v. 3, n. 6, p. 353-358, 2009.

PRETTE, A. P. **Aproveitamento de polpa e resíduos de jaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) através de secagem convectiva**. Tese (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola) 161 p., UFCG. Campina Grande-PB, 2012.

ROMANIUC NETO, S.; PIGNAL, M.; SOUZA, S.; CANHOS, D. A. L. Herbário virtual da flora e dos fungos A. de Saint-Hilaire. Rede de Herbários e Herbários Virtuais do Brasil – 66º Congresso Nacional de Botânica. **Unisanta BioScience**, v. 4, n. 7, edição especial, 2015.

RUBBO, M. S.; GASPARETTI, L. A. Fruteiras silvestres e exóticas. **Informativo SBC**, v. 4, n. 3, p. 18-24, 1985.

SECRETARIA DE AGRICULTURA, IRRIGAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA DO ESTADO DA BAHIA (SAIRAEB), **Cultura-Jaca**, Governo da Bahia, 2004. Acesso em 25 de maio de 2016.

SILVA, J. D. **Análise de alimentos (métodos químicos e biológicos)**. Ed. UFV. São Paulo, 1998.

SILVA, M. F. M. S.; LIMA, F. R. B.; DE PAULA, I. V. **Beneficiamento da jaca como incentivo à agroindústria artesanal de alimentos**. Resumo. UFRPE, 2009. Disponível em: <http://www.eventosufrpe.com.br/jepex2009/cd/resumos/R0067-1.pdf> Acesso em 18 de abril de 2016.

SILVA, L. R.; MEDEIROS, P. V. Q.; LEITE, G. A.; SILVA, K. J. P.; MENDONÇA, V.; SILVA, G. G.. Caracterização do fruto de *Morinda citrifolia* L. (noni). **Revista Cubana de Plantas Medicinales**, v. 17, n. 1, p. 93-100, 2012.

SILVEIRA, P. L. **Estudo da elaboração de passas de polpa, aproveitamento dos caroços e resíduos da jaca (*Artocarpus heterophyllus*)**. Dissertação, 70 f. Mestrado em Tecnologia de Alimentos, UFPB. João Pessoa, PB, 2000.

SOUSA, A. P. M.; MACEDO, A. D. B.; SILVA, A. P. F.; MATTOS, M. A.; PRASAD, S.; SANTANA, R. A. C.; CAMPOS, A. R. N. **Caracterização física e química de jacas comercializadas no município de Lagoa Seca - PB**. III workshop de ciências naturais e biotecnologia. UFCG, Cuité-PB, 2015.

SOUZA, J. R. T.; CAMARÃO, A. P.; RÊGO, L. C. Degradabilidade ruminal da matéria seca e proteína bruta de subprodutos da agroindústria, da pesca e de abatedouros em caprinos. **Brazilian Journal of Veterinary Science**, v. 37, n. 2, p. 169-174, 2000.

SOUZA, M. A. **Determinação das propriedades termofísicas de polpas de frutas tropicais: jaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) e umbu (*Spondias tuberosa* Arr. Cam.)**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos), Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia. Itapetinga, BA, 2008.

SOUZA, T. S.; CHAVES, M. A.; BONOMO, R. C. F.; SOARES, R. D.; PINTO, E. G.; COTA, I. R. Desidratação osmótica de frutículos de jaca (*Artocarpus integrifolia* L.): aplicação de modelos matemáticos. **Acta Scientiarum Technology**, v. 31, n. 2, p. 225-230, 2009.

SWAMI, S. B.; THAKOR, N. J.; HALDANKAR, P. M.; KALSE, S. B. Jackfruit and its many functional components as related to human health: A review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 11, n. 6, p. 565-576, 2012.

TEDESCO, J. M.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. UFRGS, Porto Alegre-RS, 1995.

TRINDADE, M. B. **Purificação, caracterização e estudos estruturais de duas lecitinas ligantes de quitina das sementes do gênero *Artocarpus***. Tese, 127 f. (Doutorado em Ciências), Instituto de física de São Carlos, USP, São Carlos, SP, 2005.

TOKARNIA, C. H.; DÖBEREINER, J.; PEIXOTO, P. V. Deficiências minerais em animais de fazenda, principalmente bovinos em regime de campo. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v. 20, n. 3, p. 127-138, 2000.

UNDERWOOD, E. J.; SUTTLE, N. F. **Mineral nutrition of livestock**. 3. ed. London: CAB International, 614 p., 1999.

Capítulo 2

UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE JACA EM PROCESSO BIOTECNOLÓGICO COMO
PERSPECTIVA PARA PRODUÇÃO DE RAÇÃO ANIMAL

2.1 INTRODUÇÃO

A produção de frutas destina-se principalmente à demanda por frutas *in natura*, no entanto, o mercado mundial apresenta uma tendência de produtos processados como compotas, sucos, geleias, licores, bebidas fermentadas, doces, entre outros. O setor de frutas e hortaliças gera ao decorrer de sua cadeia produtiva milhões de toneladas de resíduos (NASCIMENTO FILHO; FRANCO, 2015), cerca de 10 % das perdas ocorrem no campo, 50 % durante o manuseio e transporte, 30 % nas centrais de abastecimento e comercialização, e 10 % em supermercados e consumidor final (UGALDEL; NESPOLO, 2015; SILVA et al., 2016).

Em geral, os resíduos provenientes da industrialização de frutas envolvem quantidades apreciáveis de casca, sementes, bagaço, coroa ou até mesmo a polpa, dependendo do fruto. Segundo Maggioni e Marques (2007), além do impacto ambiental que esses resíduos apresentam, o não aproveitamento dos mesmos constitui desperdício. Dessa maneira, torna-se necessário a utilização eficiente e econômica dos resíduos de frutas através de processos biotecnológicos, visando equilibrar produção de bens e serviços, melhoria econômica, igualdade social e sustentabilidade ambiental, possibilitando não só o aproveitamento da matéria-prima, mas também de seus resíduos no desenvolvimento de novos produtos (SILVA et al., 2016).

O fruto da jaqueira (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) apresenta características relevantes para o processamento de alimentos e seus produtos têm boa aceitação sensorial (ASQUIERI; RABÊLO; SILVA, 2008). Com uma produção em um curto período sazonal, grande parte dos frutos não são consumidos pela população e, segundo Sousa et al. (2015), o fruto é composto, em média, de apenas 28 % de polpa, sendo o restante quase sempre descartado.

O consumo da jaca *in natura* na dieta de ruminantes foi uma opção apresentada por Pereira et al. (2007) para a redução de custos com alimentos concentrados ofertados a esses animais. Para Maggioni e Marques (2007), os resíduos de frutas podem ser utilizados na dieta de ruminantes, sendo capazes de substituir constituintes presentes em rações, sem comprometer o desempenho dos animais.

Assim, o aproveitamento alternativo com intenção de incrementar o uso industrial da jaca, promovendo a sustentabilidade alimentar e agrícola é necessária, valorizando a produção

e seu consumo. E uma alternativa seria o enriquecimento proteico dos resíduos da jaca de maneira que possa ser viável sua aplicação na alimentação de ruminantes.

O enriquecimento proteico utilizando micro-organismos pode ser realizado por meio da fermentação semissólida (MACEDO et al., 2015). Micro-organismos, como as algas, leveduras e fungos são considerados uma fonte de proteína unicelular, podendo ser utilizado na alimentação animal, substituindo os suplementos proteicos comerciais (ARAÚJO et al., 2005). A aceitação de leveduras por ruminantes tem sido alta. Quando utilizadas para alimentar vacas leiteiras, o conteúdo proteico e a digestibilidade do leite produzido aumentaram (RHISHIPAL; PHILIP, 1998).

Diversos substratos têm sido enriquecidos proteicamente, com sucesso, por fermentação semissólida com micro-organismos: pedúnculo de caju (HOLANDA; OLIVEIRA; FERREIRA, 1997; CAMPOS et al., 2003; SANTOS, 2010); resíduos de abacaxi (SUHET, 1999; CORREIA, 2004; OLIVEIRA, CAMPOS e SILVA, 2006; OLIVEIRA, 2007); casca de maracujá (OLIVEIRA et al., 2002).

Dessa forma, as características físicas e químicas de um fruto subutilizado, como a jaca, indicam a possibilidade de aproveitamento dos resíduos desses frutos através do desenvolvimento de um novo produto, a exemplo de um suplemento nutricional.

2.2 OBJETIVOS

2.2.1 Objetivo Geral

Estudar o enriquecimento proteico dos resíduos da jaca (casca, eixo e pívide) por meio do processo de fermentação semissólida, utilizando a levedura *Saccharomyces cerevisiae*, visando à produção de um suplemento proteico para ração animal.

2.2.2 Objetivos específicos

Caracterizar física e quimicamente a levedura (*S. cerevisiae*) utilizada no processo fermentativo;

Caracterizar física e quimicamente os resíduos antes, durante e após o processo de enriquecimento proteico;

Estudar a cinética do aumento proteico dos resíduos, para verificar o tempo de fermentação em que se obtém o maior aumento proteico;

Empregar um planejamento experimental associado à metodologia de superfície de resposta para verificar os efeitos das variáveis de entrada (concentração de bagaço [eixo da inflorescência e pívide] e concentração de levedura) sobre o teor proteico.

2.3 REFERENCIAL TEÓRICO

2.3.1 Fermentação Semissólida (FSS)

O processo de fermentação semissólida (FSS), também denominado como fermentação em estado sólido, fermentação em substrato sólido ou fermentação em meio semissólido, é uma prática utilizada a muitos de anos nos países orientais, asiáticos e africanos para a produção de alimentos fermentados. Atualmente, essa técnica vem ganhando espaço e despertando interesse de pesquisadores europeus e americanos, no entanto, na indústria esse processo ainda é pouco utilizado para obtenção de produtos (ZANCANARO JÚNIOR, 2001; PASTORE, BICAS, MARÓSTICA JÚNIOR, 2013).

A FSS é definida como o bioprocesso que ocorre na ausência ou quase ausência de água livre. No entanto, o substrato deve possuir teor de água suficiente para suportar o crescimento e a atividade metabólica do micro-organismo. O substrato pode ser uma fonte de nutrientes, ou pode ser um material inerte para suportar o crescimento dos micro-organismos (THOMAS; LARROCHE; PANDEY, 2013).

Segundo Zancanaro Júnior (2001), o principal processo utilizado na indústria brasileira para a geração de produtos biotecnológicos é a fermentação submersa (FSm), sendo quase insignificante o número de empresas que utilizam a FSS para estes fins. O apelo ambiental da FSS aliada ao desenvolvimento de novos modelos de biorreatores, a modelagem e a simulação são ferramentas citadas por Pastore, Bicas, Maróstica Júnior (2013) que poderão aumentar sua aplicação industrial.

A FSm abrange uma grande diversidade de processos microbianos, onde a biomassa é completamente rodeada pelo meio de cultura líquido. Segundo Pastore, Bicas, Maróstica Júnior (2013) comparada à FSm, a FSS é mais vantajosa, no que diz respeito a elevada produtividade volumétrica, a concentração de produtos ser relativamente maior, os efluentes gerados são em menor quantidade e os equipamentos de fermentação ser mais simples. Tais características resultam em menores custos operacionais e investimento de capital, probabilidade de contaminação diminuída devido a baixos teores de água, facilidade na separação de produtos, eficiência no uso de energia, e a possibilidade de ocorrer em sistemas contínuos ou semicontínuos.

Mesmo apresentando algumas vantagens em relação a FSm, a FSS apresenta limitações que dificulta seu uso em escala industrial, devido a heterogeneidade do meio: os

tipos de micro-organismo que podem ser usados são limitados, dificuldade de remoção do calor proveniente do metabolismo microbiano, controle na temperatura, dificuldade em medir parâmetros como pH, oxigênio dissolvido, quantidade de água, concentração do substrato no estado sólido e calcular o rendimento do produto (RODRIGUES, 2006).

2.3.1.1 Parâmetros do Processo Fermentativo

Existem vários fatores importantes que causam enorme impacto sobre o sucesso no desenvolvimento de qualquer bioprocessos e, sendo assim, na FSS não deve ser diferente, portanto, logo devem ser considerados.

Para Singhanian et al. (2009), estabelecer as relações entre a fisiologia dos micro-organismos e os fatores físico-químicos é importante para desenvolver modelos adequados para o processo. Algumas variáveis podem influenciar no processo de FSS, incluindo a seleção de micro-organismos adequado para o substrato, o tamanho das partículas dos substratos, a suplementação do meio de crescimento, a esterilização do meio de FSS, teor de água, a atividade da água (a_w), concentração de inóculo, temperatura, pH, agitação e aeração, tem um efeito significativo sobre a eficiência dos processos FSS.

2.3.1.1.1 Substrato

A escolha do substrato a ser usado é fundamental para o sucesso do processo fermentativo. Na escolha, devem-se levar em consideração alguns fatores como, o produto que se deseja o método utilizado, a facilidade de se obter determinadas matérias-primas e, se é economicamente viável. Como substratos, são empregadas diversas matérias-primas e, dentre estas, diversos tipos de resíduos agroindustriais.

O substrato deve apresentar algumas características que permitam um melhor resultado do processo. A principal peculiaridade é o alto grau de acessibilidade do micro-organismo a todo o meio e, logo a porosidade, tamanho e o formato das partículas são características muito importantes da matéria-prima (ZANCANARO JÚNIOR, 2001).

No processo FSS, o substrato sólido fornece os nutrientes necessários para que a cultura microbiana se desenvolva. Os substratos que fornecem todos os nutrientes para os micro-organismos crescerem são considerados como substratos perfeito. No entanto, alguns substratos podem ter deficiências de nutrientes, nesses casos, é necessário um pré-tratamento

(químico ou mecânico) antes da utilização em processos FSS (PANDEY; SOCCOL; MITCHELL, 2000).

Para Soccol e Vandenberghe (2003), nas últimas décadas vem ocorrendo um profundo interesse no uso de resíduos agroindustriais, tais como cascas e polpa de café, bagaço de mandioca, bagaço de cana-de-açúcar, bagaço de beterraba, cascas de diversos frutos etc. Tais matérias-primas vêm sendo utilizadas para o desenvolvimento e produção de produtos químicos de alto valor agregado, como etanol, enzimas, pigmentos etc. A utilização de resíduos e subprodutos na FSS propicia não somente substratos alternativos, mas também auxilia na solução de graves problemas ambientais (PASTORE, BICAS, MARÓSTICA JÚNIOR, 2013).

2.3.1.1.2 Teor de água e Atividade de água (a_w)

Na FSS, a água está relacionada a dois parâmetros, teor de água e atividade de água (a_w). O primeiro está relacionado à porcentagem de água na massa total do meio e o segundo é um parâmetro termodinâmico ligado ao potencial químico da água, ou seja, à quantidade de moléculas de água disponíveis nas vizinhanças imediatas das partículas do substrato (PASTORE, BICAS, MARÓSTICA JÚNIOR, 2013).

A água presente no substrato funciona como um filme superficial que facilita a dissolução e a transferência de nutrientes e de oxigênio. No entanto, entre as partículas devem existir espaços que permitam a propagação de gases e a dissipação de calor, o aumento do teor de água implicará na diminuição desses espaços que irá resultar em uma menor propagação de oxigênio e conseqüente decréscimo de trocas gasosas. Em contrapartida, um baixo teor de água causará dificuldades na propagação dos nutrientes, causando baixo crescimento dos micro-organismos (ZANCANARO JÚNIOR, 2001).

Segundo Lonsane et al. (1985) e Thiemann (1985), a natureza do substrato, as necessidades do micro-organismo utilizado e o tipo de produto final desejado são os principais fatores que determinam o teor de água que o substrato deverá ter no início e ao longo da fermentação.

O teor de água considerado ótimo no substrato saturado varia de 30 a 85 %, dependendo do substrato. As principais causas da variação do teor de água são a evaporação devido ao calor metabólico e hidrólise do substrato, e produção de água metabólica (DORTA et al., 1994).

A a_w é definida como a relação entre a pressão do vapor de água em um sistema, e a pressão do vapor da água pura. Logo, a_w indica a água disponível para o crescimento do micro-organismo, e está diretamente ligada com o desenvolvimento da biomassa, das reações metabólicas, e dos processos de transferência de massa (MARTINS et al., 2011).

Segundo Robinson e Nigam (2003), as bactérias suportam valores de a_w de até 0,75, as leveduras toleram valores de 0,62 a 0,64 e os fungos filamentosos crescem rapidamente em meios relativamente secos, com a_w inferior a 0,85 e até 0,61. No entanto, segundo Bhargav et al. (2008), os fungos são incapazes de crescer em a_w inferior a 0,97. Sendo assim, o crescimento de fungos e sua produção de metabólitos secundários durante FSS são fortemente afetadas pela a_w do substrato.

Segundo Sato, Nagatani e Sato, (1982), normalmente, em estudos de laboratório, a a_w é controlada colocando-se o biorreator em uma câmara de cultura, cujo teor de água é fixado através de soluções salinas saturadas. Em maior escala, o biorreator é arejado com água-ar saturada.

2.3.1.1.3 pH

Outro parâmetro importante a ser considerado em um processo fermentativo é o pH, pois tem influência direta no crescimento e desenvolvimento de micro-organismos, uma vez que cada espécie de micro-organismo tem um valor ótimo de pH no qual deverá ser cultivado.

As variações no pH são resultados do consumo do substrato (por exemplo, hidrólise proteica) e/ou produção de metabólitos (por exemplo, ácidos orgânicos). Ele é o indicador das mudanças das atividades metabólicas (MAUREL et al., 2003).

Em processos fermentativos, as variações bruscas do pH pode ser amenizada utilizando substratos com boa capacidade tamponante ou a adição de soluções tampão. Geralmente, utiliza-se ácidos orgânicos como agentes tamponantes em meios que apresentem valores de pH baixos. Já para meios que apresenta pH entre 6,0 e 7,5, usa-se fosfato inorgânico adicionado em excesso por causa da sua boa capacidade de tamponamento. O pH também pode ser controlado com a adição de hidróxidos, amônia líquida ou gasosa, e ácidos sulfúrico e clorídrico (WARD, 1993).

No entanto, segundo Zancanaro Júnior (2001) apesar de o pH ser um parâmetro muito importante para o sucesso de uma FSS, o controle deste é um dos mais críticos e dificilmente se conseguirá devido à heterogeneidade e à consistência dos substratos.

Sendo o pH uma variável importante no processo, há valores de pH mínimo, ótimo e máximo para o desenvolvimento de cada micro-organismo. As leveduras industriais apresentam boa adaptação na faixa de pH entre 5,2 e 6,8 (BONASSA et al., 2013). Já para Souza e Monteiro (2011), a faixa de pH no qual as leveduras apresentam boa velocidade de crescimento e formação de produto é um pouco maior, entre 3 e 6. Segundo Lima et al. (2013), meios muito ácidos são menos submissos a contaminação bacteriana, resultando em maior rendimento alcoólico, porém quando os valores de pH são muito baixos, ocasionam perda de alguns nutrientes, como nitrogênio e potássio, resultando no aumento da sensibilidade ao etanol e ácidos orgânicos.

2.3.1.1.4 Temperatura

A temperatura, assim como os demais parâmetros, tem grande influência no crescimento microbiano. Pois, cada micro-organismo tem uma faixa relativamente restrita de temperatura na qual se desenvolve. Temperaturas inapropriadas podem levar à desnaturação de proteínas, inibição enzimática, promoção ou inibição de produção de determinados metabólitos, afetar a produção de esporos e causar morte celular.

Como os demais parâmetros, a temperatura apresenta uma forte influência no crescimento microbiano, havendo uma temperatura mínima abaixo da qual o micro-organismo não cresce, uma temperatura ótima na qual o crescimento é máximo, e uma temperatura máxima acima da qual não ocorre crescimento. Em processos fermentativos, há a necessidade de observar a temperatura para que a mesma não se eleve demais prejudicando o processo (PERAZZO NETO, 1999).

Segundo Zancanaro Júnior (2001) e Nagel et al. (2001), a grande quantidade de calor produzida durante o processo fermentativo, pode estar associada às atividades metabólicas dos micro-organismos e à altura da camada de substrato.

Em escala industrial, a temperatura é normalmente controlada por ar forçado, agitação ou evaporação (DUNAND et al., 1996). Segundo Fernandez et al. (1996), o último método é o mais efetivo: a umidade do ar é ajustada de acordo com modelos de troca de água entre sólidos e gases, permitindo dessa forma uma rápida regulagem, dentro de uma faixa de ± 4 °C, sendo a regulagem da temperatura ligada ao controle da umidade da fase sólida. Raimbault e Toro (1980) afirmam que em condições experimentais, a temperatura do biorreator,

normalmente, é controlada com um banho termostático ou através da regulação da temperatura ambiente.

2.3.1.1.5 Micro-organismo

As principais espécies de micro-organismos utilizados na produção comercial de produtos derivados da FSS são as leveduras, fungos e bactérias, mesmo que nos últimos anos tenha ocorrido desenvolvimento de técnicas de cultura de células de animais e plantas que possibilita a introdução de células mais complexas nos processos de fermentação (WARD, 1993).

Segundo Pandey (1992), tanto micro-organismos em seu estado natural, como na forma de culturas puras individuais ou mistas, podem ser utilizados no processo da FSS.

Muitos micro-organismos têm a capacidade de crescer em substratos sólidos, no entanto, devido ao baixo teor de água no meio, fungos e leveduras são os mais utilizados devido à sua capacidade de crescimento em ambientes com esta característica. No entanto, a escolha do micro-organismo a ser usado em FSS depende do produto final desejado. Os fungos filamentosos têm um grande potencial para a produção de compostos bioativos de FSS, e, portanto, eles são os micro-organismos mais utilizados para esta finalidade (MARTINS et al., 2011).

A escolha do tipo de micro-organismo a ser utilizado no processo fermentativo reflete diretamente no resultado do processo. Sendo assim, durante a seleção do micro-organismo, seja ele fungos, leveduras ou bactérias, deve levar em consideração detalhes do processo, como meio de cultura e condições ambientais da fermentação (temperatura e teor de água do sistema), pois a FSS tem se mostrado capaz de realizar vários tipos de transformações (MACEDO et al., 2016).

Como exemplos para a obtenção do enriquecimento protéico podem ser citados, dentre muitos outros, o uso de micro-organismos dos gêneros *Rhizopus* (SUHET, 1999; ALBUQUERQUE et al., 2003); *Candida* (CANOILAS, 1991); *Aspergillus* (PERAZZO NETO, 1999) e *Saccharomyces* (HOLANDA et al., 1997; ARAÚJO et al., 2003; CAMPOS, 2003; CORREIA, 2004; OLIVEIRA, 2007; OLIVEIRA, 2014; MACEDO et al., 2015; SILVA, 2015; OLIVEIRA JÚNIOR et al., 2016).

Dentre os micro-organismos, a levedura destaca-se por apresentar características como rápida multiplicação, elevado teor nutricional, alta eficiência na absorção dos nutrientes pelo

organismo e excelente componente alimentar para os animais (ARAÚJO et al., 2009). Ainda segundo Araújo et al. (2009), a levedura apresenta componentes que alivia o estresse dos animais gerados por fatores como o desmame, vacinação e transporte, além de favorecer as rações aspectos mais agradáveis ao paladar dos animais.

As leveduras além de sua ampla utilidade na produção industrial de alimentos, bebidas e até farmacêutica, tem um grande potencial como fonte de proteína, sendo possível utilizar sua biomassa na alimentação animal (CAMPOS et al., 2009).

As leveduras, assim como qualquer outra forma de vida necessitam de determinados fatores que favoreçam o seu crescimento. Esses fatores devem está presente no meio no qual os micro-organismos vão se desenvolver na forma de vitaminas, aminoácidos, nucleotídeos e ácidos graxos. No entanto, seu crescimento será equivalente a quantidades de compostos limitantes, quanto maior a quantidade de nutriente presente no meio maior será o crescimento microbiano (BORZANI , 2001).

2.3.1.1.6 Biorreator

O biorreator a ser utilizado no processo de fermentação é uma das peças chaves para o sucesso do processo. É nele onde a matéria-prima é convertida no produto desejado. No entanto, o design e funcionamento dos biorreatores consistem um desafio para o processo de FSS (PASTORE, BICAS, MARÓSTICA JÚNIOR, 2013).

Segundo Thomas, Larroche e Pandey (2013), sabe-se que para o desenvolvimento de biorreatores e o seu correto funcionamento, são necessárias informações quantitativas sobre a cinética e a estequiometria do processo de reação. Um biorreator no processo de fermentação deve fornecer o ambiente para o crescimento e atividade da cultura microbiana, contudo, a complexidade estrutural e nutricional dos substratos muitas vezes dificulta o desenvolvimento do micro-organismo.

Para Pastore, Bicas, Maróstica Júnior (2013) a construção dos biorreatores deve levar em contas particularidades inerentes a FSS: a variedade de materiais que podem ser utilizados como suportes ao crescimento, e suas características como composição, tamanho, resistência mecânica, porosidade e capacidade de retenção de água, somados ao baixo teor de água do substrato, que confere problemas de transferência de calor ao sistema.

Zancanaro Júnior (2001) cita diversos tipos de reatores que podem ser utilizados nos processos de FSS, tais como, o biorreator de bandeja, tanques circulares, esteira rolante,

tubular horizontal, tubular vertical e sacos plásticos. O tipo de biorreator a ser utilizado deve amenizar os problemas de aeração, troca de calor, umidade, entre outros fatores.

2.3.2 Enriquecimento proteico

Vários resíduos agroindustriais são importantes, não só pela quantidade gerada como também pelas potencialidades que eles apresentam na sua reutilização, devido à sua composição físico-química. Muitos processos têm sido desenvolvidos utilizando tais materiais para a produção de várias biomoléculas de importância comercial e produtos finais de valor agregado, como por exemplo, o enriquecimento proteico de resíduos de frutas. Tal fato demonstra que a utilização de resíduos agroindustriais em bioprocessos propicia substratos alternativos e ao mesmo tempo resolve o problema ambiental de tratamento ou disposição do resíduo, como exemplificado a seguir.

Holanda et al. (1997) avaliaram a proporção de inóculo de *S. cerevisiae* e o tempo de fermentação necessário para se enriquecer a pasta de pedúnculos de caju por FSm em sistema de batelada a temperatura de 35 °C. Os autores referidos conseguiram um aumento de 20 % do teor proteico do material fermentado, utilizando 5,0 % de concentração de levedura, com um tempo de fermentação inferior a 24 h.

Suhet (1999) realizou o estudo do enriquecimento proteico do resíduo da industrialização do abacaxi por FSS a 30 °C. As fermentações foram realizadas em bandeja perfurada, com o fungo *Rhizopus oligosporus* e em sacos plásticos, com os fungos *R. oligosporus* e *Aspergillus niger*. O tempo em que foram observados os maiores teores de proteína bruta para as fermentações em bandeja com *R. oligosporus* e em sacos com *R. oligosporus* e *A. niger*, foram 65, 96 e 75 h, respectivamente. Prolongando o tempo do processo, foi observada uma redução do teor proteico.

Albuquerque et al. (2003) utilizaram o fungo *R. oligosporus* para promover o enriquecimento proteico do bagaço de maçã, resíduo da indústria de sucos, empregando a FSS, que foi realizada em reatores de leito empacotado, durante 72 h, a 30 °C. Os autores conseguiram um aumento de cinco vezes no teor de proteína do bagaço.

Campos (2003) estudou o enriquecimento proteico do bagaço do pedúnculo de caju por FSS, utilizando a levedura *S. cerevisiae*. O maior teor de proteína bruta, 20,25 %, foi encontrado com a adição de 12 % de concentração de levedura e uma temperatura de fermentação de 33 °C, após 28 h de processo. Os resultados alcançados mostram que é viável

a utilização da levedura para obtenção de um concentrado proteico, utilizando o bagaço de caju como substrato.

Correia (2004) utilizou resíduos de abacaxi como substrato no estudo do enriquecimento proteico por FSS, utilizando a levedura *S. cerevisiae* e suplementação de nitrogênio (sulfato de amônia e ureia). Após 48 h de fermentação verificou-se um ganho proteico de quase quatro vezes do conteúdo inicial de proteína.

Oliveira (2007) estudou o enriquecimento nutricional por bioconversão de resíduos agroindustriais para utilização na alimentação animal. Resíduos de casca de maracujá e casca e coroa de abacaxi foram enriquecidos separadamente por FSS com a *S. cerevisiae*. As fermentações foram realizadas em bandejas durante um período de 48 h. O aumento proteico encontrado para os três resíduos foi em média de 2,40 vezes, em relação ao *in natura*. O autor conclui que os resíduos alcançam concentrações nutricionais que, podem ser transformados em suplemento nutricional, sendo uma alternativa alimentar para os animais, na época de escassez de alimento no semiárido.

2.4. METODOLOGIA

Os experimentos foram conduzidos no Laboratório de Bioquímica e Biotecnologia de Alimentos da Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Educação e Saúde (UFCG/CES).

2.4.1 Substrato

As jacas que foram utilizadas nesse estudo foram adquiridas, selecionadas e submetidas a tratamento prévio de lavagem e sanitização, bem como corte para a separação de seus componentes, conforme citado no item 1.4.1 do capítulo 1.

As matérias-primas utilizadas como substratos para o processo de enriquecimento proteico foram os resíduos de jaca (casca, eixo e pívide). Os resíduos foram triturados individualmente em liquidificador doméstico.

A composição do substrato, ou seja, a quantidade ou concentração de cada matéria-prima a ser utilizada no processo de fermentação seguiu um planejamento experimental que será mostrado a seguir. A Figura 2.1 apresenta os substratos utilizados, sendo substrato constituído apenas de casca (A), substrato constituído apenas de bagaço (eixo e pívide) (B) e substrato constituído de casca e bagaço (C). Em todos os experimentos foram utilizados 500 g de substrato.

Figura 2. 1. Substratos. Casca (A). Bagaço (Eixo e Pívide) (B). Casca e Bagaço (C).



Fonte: Dados da pesquisa

2.4.2 Biorreator

O biorreator foi escolhido levando-se em consideração que o objetivo do processo foi o enriquecimento proteico, ou seja, o desenvolvimento de micro-organismos. Utilizou-se biorreatores retangulares de plástico, com dimensões de 10 x 27 x 9 cm. Esse tipo de biorreator é bastante indicado, pois oferece condição necessária ao bom desenvolvimento dos micro-organismos, além de fácil aquisição e operação, e possibilidade de ampliação de escala.

2.4.3 Fermentação

A fermentação empregada foi do tipo semissólida em sistema de batelada. O substrato foi adicionado ao biorreator, ocorrendo então à adição do micro-organismo. Em seguida, os biorreatores foram dispostos em estufa de circulação de ar forçado a 35 °C, durante 72 h.

Antes, durante e após a fermentação foram realizadas análises físicas e químicas para a determinação do teor de água (TA), pH, resíduo mineral fixo (RMF), e proteína bruta (PB), com o seu respectivo aumento proteico (AP) para todos os experimentos realizados.

Os tempos de retirada de amostras para a caracterização física e química correspondeu a 0, 24, 48 e 72 h de fermentação. O tempo 0 h, refere-se ao início do processo fermentativo, ou seja, logo após a mistura do substrato *in natura* e da levedura.

Antes de cada retirada de amostra, o substrato era homogeneizado com o auxílio de uma colher de plástico, para que as amostras representassem, de melhor maneira possível, todo o meio.

2.4.4 Micro-organismos

O micro-organismo utilizado para o enriquecimento proteico foi a levedura *Saccharomyces cerevisiae*, prensada, fermento biológico comercial da marca Fleischmann.

A adição da levedura ao substrato foi realizada com o auxílio de uma peneira de plástico, para uma melhor distribuição da mesma, evitando pontos de preferência, em concentrações definidas no planejamento experimental.

2.4.5 Análises Físicas e Químicas

As determinações do TA, pH, RMF, e PB foram realizadas conforme descrição nos itens 1.4.2 e 1.4.3 do capítulo 1.

2.4.5.1 Aumento Proteico (AP)

A determinação do aumento proteico (AP) nas amostras teve como base o valor proteico contido nos substratos *in natura*. O AP foi definido como a razão entre a diferença do valor proteico do substrato enriquecido e o valor proteico do substrato na forma *in natura*, e o valor inicial de proteína bruta na forma *in natura*, conforme Equação 2.1.

$$AP(\%) = \frac{(\%) \text{ Proteína Bruta}_{(\text{enriquecido})} - (\%) \text{ Proteína Bruta}_{(\text{in natura})}}{(\%) \text{ Proteína Bruta}_{(\text{in natura})}} \cdot 100 \quad (2.1)$$

2.4.6 Planejamento experimental

Com a finalidade de avaliar quantitativamente a influência das variáveis independentes: concentração de bagaço e concentração de levedura, sobre o AP, bem como suas possíveis interações com a realização mínima de experimentos, foi realizado um planejamento fatorial 3^2 mais um experimento no ponto central com repetição, totalizando vinte experimentos. Os experimentos foram realizados em ordem aleatória, para evitar o erro sistemático, variando-se simultaneamente a concentração de bagaço e a concentração de levedura.

A matriz do planejamento fatorial $3^2 + 1$ encontra-se na Tabela 2.1, bem como as variáveis utilizadas nesse planejamento, suas codificações e os níveis reais para cada variável. Cada variável independente foi investigada para um nível alto (+1), um intermediário (0) e um baixo (-1).

Tabela 2.1. Matriz do planejamento fatorial $3^2 + 1$

| Experimentos | Concentração de levedura | | Concentração de bagaço | |
|--------------|--------------------------|------------|------------------------|------------|
| | Valor | Valor Real | Valor | Valor Real |
| | Codificado | (%) | Codificado | (%) |
| 1 | -1 | 1 | -1 | 0 |
| 2 | -1 | 1 | 0 | 50 |
| 3 | -1 | 1 | +1 | 100 |
| 4 | 0 | 3 | -1 | 0 |
| 5 | 0 | 3 | 0 | 50 |
| 6 | 0 | 3 | +1 | 100 |
| 7 | +1 | 5 | -1 | 0 |
| 8 | +1 | 5 | 0 | 50 |
| 9 | +1 | 5 | +1 | 100 |
| 10 | 0 | 3 | 0 | 50 |

As concentrações de levedura selecionadas foram 5, 15 e 25 g em relação à massa inicial de substrato. Esses valores foram baseados em estudos que verificaram a influência desta variável no processo (CAMPOS, 2008; MACEDO et al., 2015; SILVA, 2015). Uma vez que se pretende um processo fermentativo de enriquecimento proteico de maneira viável ao produtor e com baixo custo, foram escolhidas concentrações menores de levedura, mas que permitem seu bom desenvolvimento, constituindo assim em um satisfatório AP.

Com relação à concentração de bagaço, escolheram-se valores que permitiam verificar o comportamento individual de cada substrato (casca e bagaço) bem como sua mistura. A concentração de bagaço utilizada compreendeu a 0, 50 e 100 %, onde 0 % significa que o substrato era constituído apenas de casca de jaca, 50 % o substrato era constituído em partes iguais de casca e bagaço e 100 % o substrato era constituído apenas de bagaço.

O software Statistica 8.0 foi utilizado para geração e avaliação do planejamento experimental fatorial e análise da regressão dos dados experimentais.

2.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.5.1 Caracterização Física e Química da Levedura Utilizada no Processo de Enriquecimento Proteico

A levedura *S. cerevisiae* apresentou o valor médio de teor de água 65,03 %, pH de 5,14, e PB de 46,51 %, conforme apresentado na Tabela 2.2.

Tabela 2.2. Caracterização física e química da levedura (*S. cerevisiae*) empregada no processo de enriquecimento proteico.

| Parâmetros | Média |
|--------------------------|---------------|
| Teor de água (%) | 65,03 ± 0,478 |
| pH | 5,14 ± 0,177 |
| Resíduo Mineral Fixo (%) | 1,93 ± 0,04 |
| Proteína Bruta (%) | 46,51 ± 2,173 |

A levedura utilizada por Silva (2015) para enriquecimento proteico do facheiro e xiquexique apresentou médias de teor de água de 71,89 %; RMF de 1,93 %; pH 4,57 e teor de PB de 48,02 %.

De acordo com Melo et al. (2010) a levedura *S. cerevisiae* pode apresentar entre 28,70 e 38,28 % de PB, salientando que, em processos fermentativos, deve-se levar em consideração o substrato utilizado e as condições do meio de cultivo para estimar sua composição química e valor nutritivo.

2.5.2 Caracterização Física e Química dos Substratos Antes do Processo de Enriquecimento Proteico

A Tabela 2.3 apresenta os valores médios do TA, pH, RMF e PB apresentados pelos resíduos *in natura* (casca e bagaço) antes da fermentação.

Tabela 2.3. Caracterização física e química dos resíduos de jaca (casca, eixo e pívide) (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) *in natura* antes do processo fermentativo.

| | Resíduo | |
|--------------------------|--------------|-------------------------|
| | Casca | Bagaço Eixo + Pívide |
| Teor de Água (%) | 79,46 ± 0,20 | 77,9 ± 0,20 |
| pH | 5,42 ± 0,02 | 5,63 ± 0,09 |
| Resíduo Mineral Fixo (%) | 3,92 ± 0,06 | 4,94 ± 0,04 |
| Proteína Bruta (%) | 6,27 ± 0,20 | 8,02 ± 0,30 |

As amostras de casca e bagaço apresentaram valor médio para o TA de 79,46 % e 77,9 %, respectivamente. O pH foi de 5,42 para o resíduo casca e 5,63 para o bagaço. Os TA e pHs apresentados pela casca e pelo bagaço foram próximos entre si.

No entanto, os valores de RMF e PB foram maiores para o bagaço da jaca (4,94 % e 8,02 %, respectivamente), demonstrando potencial para o desenvolvimento de novos bioprodutos, como a utilização deste na alimentação animal após processo de enriquecimento proteico, uma vez que este *in natura* não cumpre as exigências nutricionais dos animais (VAN SOEST, 1994).

Segundo Barreiros et al. (2006), os resíduos de jacas são utilizados na alimentação animal, por apresentarem respostas positivas, quanto ao teor nutritivo, apresentando valor de PB de 7 %.

Silva et al. (2011) avaliaram os efeitos da inclusão de jaca *in natura* sobre as populações microbianas, perfil fermentativo, perdas de nutrientes e composição bromatológica de silagens de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.). Verificou-se que a inclusão de 15 % de jaca *in natura* assegura uma boa fermentação de silagens de capim-elefante, proporcionando diminuição das perdas por gases, aumento na recuperação de matéria seca e melhorias na composição bromatológica.

Os minerais presentes nos resíduos da jaca *in natura*, utilizados como substratos durante a fermentação semissólida (FSS), são apresentados na Tabela 2.4.

Segundo Damodaran; Parkin; Fennema (2010) os minerais podem ser classificados como principais ou macroelementos, que são aqueles necessários em altas concentrações para o crescimento e desenvolvimento de plantas e animais (Ca, P, Mg, Na, K, Cl) ou microelementos, encontrados em pequenas concentrações (Fe, I, Zn, Se, Cr, Cu, F e Sn).

Tabela 2.4. Constituintes minerais da casca e do bagaço da jaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) *in natura* antes do processo fermentativo.

| Minerais | (%) | |
|----------|-------|---------------------------------|
| | Casca | Bagaço Eixo central + Pívide |
| K | 3,310 | 4,150 |
| P | 0,020 | 0,050 |
| Ca | 0,260 | 0,350 |
| Fe | 0,006 | 0,006 |
| Zn | 0,003 | 0,003 |
| S | 0,030 | 0,030 |
| Mg | 0,110 | 0,150 |
| Si | 0,060 | - |

Em relação aos constituintes minerais da casca e do bagaço da jaca, verificou-se que tanto a casca como o bagaço são ricos em K apresentando, respectivamente, 3,310 e 4,150 %, seguido por Ca (0,260 e 0,350 %) e Mg (0,110 e 0,150 %). Esses dados corroboram com o trabalho de Nepa (2006) e Baliga et al. (2011) que verificaram que a jaca é bastante rica em sais minerais, como o K, P, Ca e Mg.

De acordo com Silva (2015), as exigências mínimas da National Research Council (NRC, 1970) de K, para animais em crescimento e engorda, são 0,6 a 0,8 % e as exigências mínimas com relação a Mg, para bovinos de corte em crescimento são de 0,07 % (UNDERWOOD, 1981), portanto tanto a casca quanto o bagaço da jaca analisado neste trabalho seriam capazes de suprir essas exigências.

2.5.3 Caracterização Física e Química dos Substratos Durante o Processo de Enriquecimento Proteico

2.5.3.1 Teor de Água (TA)

Na tabela 2.5, observa-se a variação do TA em função do tempo de fermentação dos diferentes experimentos, nos quais se variou a concentração de levedura e a concentração de bagaço.

Tabela 2.5. Valores do teor de água durante o processo de fermentação semissólida.

| Experimentos | Teor de Água (%) | | | |
|--------------|------------------|-------|-------|-------|
| | 0 h | 24 h | 48 h | 72 h |
| 1 | 80,13 | 77,87 | 73,76 | 62,00 |
| 2 | 79,68 | 76,53 | 72,70 | 60,85 |
| 3 | 79,54 | 76,79 | 73,77 | 60,19 |
| 4 | 80,13 | 76,19 | 70,88 | 55,66 |
| 5 | 79,68 | 77,12 | 71,26 | 61,73 |
| 6 | 79,54 | 72,46 | 72,37 | 60,70 |
| 7 | 80,13 | 75,88 | 71,09 | 59,90 |
| 8 | 79,68 | 74,89 | 76,32 | 62,22 |
| 9 | 79,54 | 74,47 | 73,66 | 64,36 |
| 10 | 79,68 | 76,90 | 74,97 | 66,53 |

Segundo Roussos et al. (2013), o TA do meio pode afetar a atividade de água (a_w) e, conseqüentemente, o metabolismo dos micro-organismos, a transferência de calor, a oxigenação e a transferência de massa, dessa forma influencia diretamente nos resultados do processo fermentativo.

Os TA iniciais apresentados pelas amostras no tempo 0 h são semelhantes aos encontrados para as amostras *in natura*, uma vez que apenas foi adicionado a levedura às amostras e as quantidades adicionadas não influenciaram no TA das amostras.

Também foi possível verificar que ocorreu uma diminuição gradativa do TA nas amostras no decorrer das 72 h de fermentação. Essa diminuição pode ter sido ocasionada pela circulação de ar dentro da estufa e da temperatura de fermentação estudada (35 °C). O valor médio do TA apresentado pelos diferentes experimentos após 72 h de fermentação foi de $61,41 \pm 2,86 \%$.

Robinson e Nigam (2003) mencionam que fermentações em meios com baixo TA só podem ser efetuadas por um número limitado de micro-organismos, principalmente leveduras e fungos, uma vez que estes têm a capacidade de se desenvolver em tais condições. Relatam também que a umidade no processo de FSS é necessária para o resfriamento do sistema assim como para incorporação de água em novas células microbianas.

Para que ocorra o desenvolvimento dos micro-organismos, em processos de FSS, é necessário que esse teor seja adequado ao crescimento dos mesmos, permitindo que ocorram

as reações necessárias ao processo. De acordo com Pontes (2009), se essa porcentagem estiver abaixo de 12 %, os micro-organismos não se desenvolvem.

2.5.3.2 pH

A faixa de pH ótimo para cultivo da levedura *S. cerevisiae* situa-se entre 3,5 e 6,0 (POLYORACH; WANAPAT; CHERDTHONG, 2014).

Na Tabela 2.6 estão apresentados a variação do pH durante o processo de FSS nos diferentes experimentos.

Tabela 2.6. Valores de pH durante o processo de fermentação semissólida.

| Experimentos | pH | | | |
|--------------|------|------|------|------|
| | 0 h | 24 h | 48 h | 72 h |
| 1 | 5,42 | 5,07 | 4,84 | 4,82 |
| 2 | 5,47 | 5,46 | 5,44 | 5,69 |
| 3 | 5,53 | 5,64 | 5,80 | 6,54 |
| 4 | 5,42 | 5,11 | 4,93 | 4,72 |
| 5 | 5,47 | 5,41 | 5,39 | 5,11 |
| 6 | 5,53 | 5,68 | 5,77 | 6,06 |
| 7 | 5,42 | 5,10 | 5,05 | 4,97 |
| 8 | 5,47 | 5,39 | 5,43 | 5,28 |
| 9 | 5,53 | 5,59 | 5,81 | 6,26 |
| 10 | 5,47 | 5,51 | 5,62 | 5,36 |

O pH de todos os experimentos sofreu variação no decorrer do tempo de fermentação. É possível observar que nos experimentos onde apenas há presença de bagaço (Exps. 3, 6 e 9), os valores de pH aumentaram no decorrer do processo, apresentando todos um pH superior a 6,0. Comportamento oposto foi verificado nos experimentos constituído apenas de casca (Exps. 1, 4 e 7) nos quais ocorreu a diminuição gradativa do valor de pH, e nenhum alcançou pH superior a 5,0.

Os experimentos 2, 5, 8 e 10, nos quais o substrato era constituído de partes iguais de casca e bagaço não foi observado um comportamento semelhante na variação de pH durante o processo fermentativo, no entanto percebeu-se que nenhum substrato alcançou pH superior a 6,0.

Durante as 72 h de fermentação nenhuma das amostras apresentou indícios de contaminação por outros micro-organismos, aparência desagradável, nem mau cheiro, indicando provavelmente que o processo poderia ser estendido por mais tempo, no entanto, este estudo limitou-se a 72 h, uma vez que vários estudos apontaram tempo ótimo de fermentação inferior às 72h (CAMPOS, 2003 e 2008; OLIVEIRA, 2007; OLIVEIRA 2014; SILVA, 2015).

Macedo et al. (2015) no estudo do enriquecimento proteico da palma forrageira e do sisal por FSS descreveu que nas primeiras 48 h de fermentação não havia indícios de contaminação dos substratos por outros micro-organismos, podendo ser percebido pela aparência do substrato e confirmado pela pequena variação dos valores de pH, em relação ao observado no início da fermentação. No entanto, após 72 h de fermentação, o substrato dos experimentos que continham apenas bagaço de sisal começou a apresentar cheiro desagradável e coloração escurecida, mostrando ser inviável a continuação do processo de FSS após esse tempo.

O conhecimento do teor de ácidos presentes em uma amostra é de vital importância, pois indica uma medida de deterioração microbiana, que influencia no processo fermentativo (PINTO et al., 2015).

2.5.3.3 Resíduo mineral fixo (RMF)

Na Tabela 2.7 estão apresentadas as variações do RMF durante o processo de FSS nos diferentes experimentos.

O RMF de todos os experimentos sofreu variação no decorrer do tempo de fermentação. Nota-se que em todos os experimentos, os teores de RMF aumentaram com o decorrer do processo fermentativo.

Observa-se nos experimentos 3, 6 e 9 que houve aumento crescente do teor de RMF, sendo os maiores teores apresentados nos experimentos após 72 h de fermentação. Isso se deve provavelmente ao fato do substrato desses experimentos serem constituídos apenas de bagaço do fruto e que comparado com a casca já tinham os maiores teores de RMF *in natura*.

Tabela 2.7. Valores de resíduo mineral fixo durante o processo de fermentação semissólida.

| Experimentos | Resíduo Mineral Fixo (%) | | | |
|--------------|--------------------------|------|------|------|
| | 0 h | 24 h | 48 h | 72 h |
| 1 | 3,98 | 4,55 | 5,23 | 5,30 |
| 2 | 4,98 | 5,88 | 6,46 | 6,64 |
| 3 | 5,71 | 6,47 | 7,19 | 7,59 |
| 4 | 3,98 | 4,84 | 5,35 | 5,24 |
| 5 | 4,98 | 5,72 | 5,95 | 6,19 |
| 6 | 5,71 | 6,34 | 7,19 | 7,07 |
| 7 | 3,98 | 4,91 | 5,04 | 5,34 |
| 8 | 4,98 | 5,73 | 6,16 | 6,14 |
| 9 | 5,71 | 6,52 | 7,12 | 7,31 |
| 10 | 4,98 | 5,61 | 6,57 | 6,21 |

2.5.3.4 Proteína Bruta (PB)

Na Tabela 2.8 são apresentados os valores de PB nos diferentes tempos de fermentação, referentes aos experimentos realizados. Os valores em destaque representam os maiores valores de PB alcançados em cada experimento.

Tabela 2.8. Percentual de proteína bruta dos substratos durante o processo de FSS dos experimentos.

| Experimentos | Proteína Bruta (%) | | | |
|--------------|--------------------|--------------|--------------|--------------|
| | 0 h | 24 h | 48 h | 72 h |
| 1 | 7,00 | 7,58 | 7,58 | 8,60 |
| 2 | 8,60 | 10,20 | 7,29 | 9,62 |
| 3 | 9,33 | 11,08 | 10,64 | 10,50 |
| 4 | 8,60 | 8,75 | 8,60 | 9,47 |
| 5 | 9,18 | 10,50 | 10,35 | 10,50 |
| 6 | 10,64 | 11,22 | 11,66 | 12,83 |
| 7 | 8,75 | 11,22 | 11,66 | 12,83 |
| 8 | 10,06 | 10,93 | 11,22 | 11,08 |
| 9 | 11,66 | 11,81 | 12,68 | 13,41 |
| 10 | 9,19 | 9,62 | 10,20 | 10,35 |

Nos experimentos em que o substrato era constituído apenas de casca (1, 4 e 7), os maiores teores de PB foram alcançados com 72 h de fermentação. O maior percentual de PB

em todos os experimentos foi no experimento 7, que alcançou valores de 12,83 %. No experimento 1, o maior valor de PB foi de 8,60 % e no experimento 4 foi de 9,47 %.

Nas fermentações em que os substratos eram constituídos apenas de bagaço, o experimento 3 apresentou o maior valor de PB de 11,08 %, após 24 h de processo. Os experimentos 6 e 9 alcançaram valores de PB 12,83 e 13,41 %, respectivamente, após 72 h de fermentação.

Com relação aos demais experimentos constituídos de casca e bagaço (2, 5, 8 e 10), os experimentos 2 e 5 alcançaram os maiores valores de PB após 24 h de fermentação, de 10,20 e 11,08 %, respectivamente. O experimento 8 alcançou o maior teor de PB após 48 h de fermentação, de 11,22 % e o experimento 10 após 72 h de fermentação, o teor de PB foi de 10,35 %.

2.5.3.5 Aumento Proteico (AP)

Os valores de AP, referentes aos experimentos realizados durante 72 h de fermentação, encontram-se na Tabela 2.9. Os valores em destaque representam os maiores valores de AP alcançados em cada experimento.

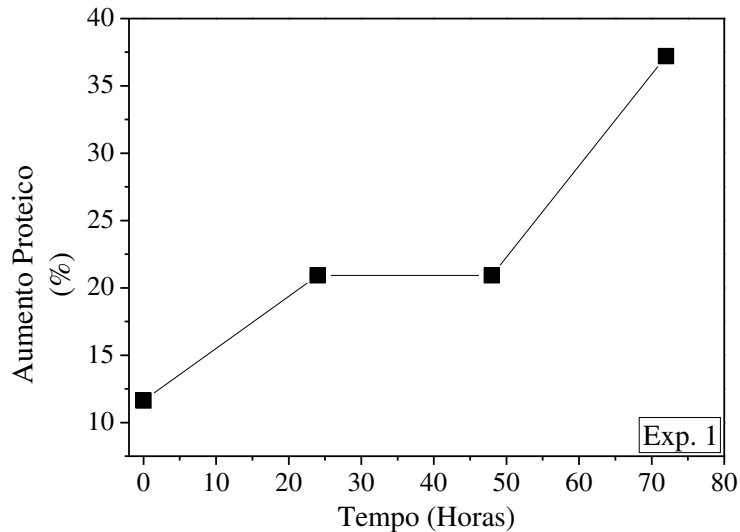
Tabela 2.9. Percentual do aumento proteico dos substratos durante o processo de FSS dos experimentos.

| Experimentos | Aumento Proteico (%) | | | |
|--------------|----------------------|--------------|--------------|---------------|
| | 0 h | 24 h | 48 h | 72 h |
| 1 | 11,62 | 20,93 | 20,93 | 37,21 |
| 2 | 47,50 | 75,00 | 25,00 | 65,00 |
| 3 | 16,36 | 38,18 | 32,72 | 30,90 |
| 4 | 37,21 | 39,53 | 37,21 | 51,16 |
| 5 | 57,50 | 80,00 | 77,50 | 80,00 |
| 6 | 32,72 | 40,00 | 45,45 | 60,00 |
| 7 | 39,53 | 79,07 | 86,04 | 104,65 |
| 8 | 72,50 | 87,50 | 92,50 | 90,00 |
| 9 | 45,45 | 47,27 | 58,18 | 67,27 |
| 10 | 57,50 | 65,00 | 75,00 | 77,50 |

É possível observar que a maioria dos experimentos apresentou crescimento ascendente do AP e que os maiores teores foram alcançados após 72 h de fermentação.

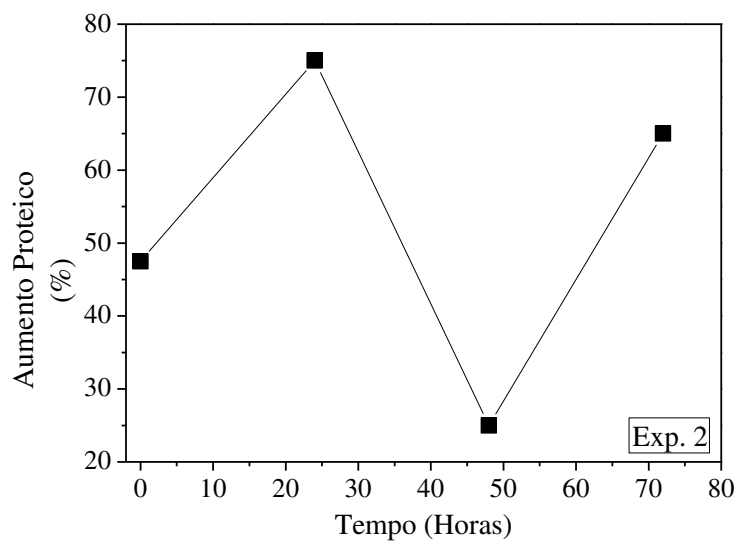
A seguir (Figuras 2.2 a 2.11) estão representadas graficamente as variações do AP dos substratos nos dez experimentos durante o processo FSS. A escolha do tempo ideal para a fermentação foi atribuída ao tempo onde foi alcançado o maior AP para cada experimento.

Figura 2.2. Cinética do aumento proteico durante a FSS, experimento 1.



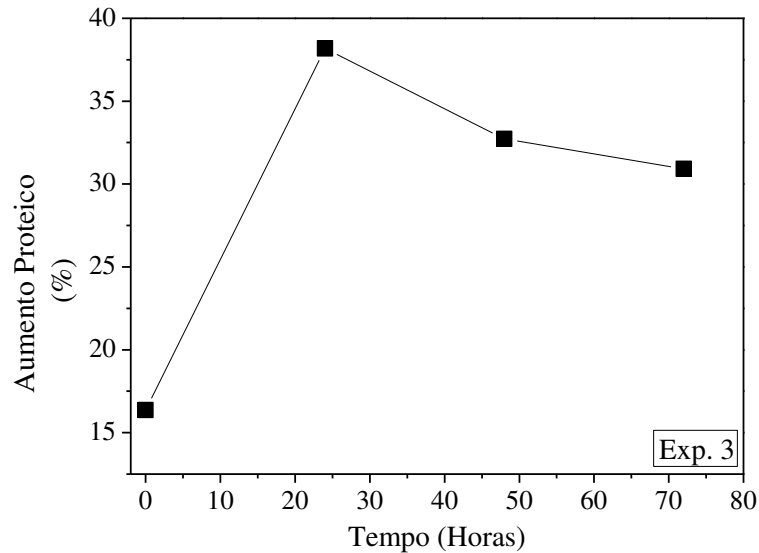
O experimento 1 obteve um percentual máximo de AP de 37,21 %, esse aumento foi conseguido após 72 h de fermentação. A Figura 2.2 mostra o comportamento do AP (%) durante as 72 h de fermentação.

Figura 2.3. Cinética do aumento proteico durante a FSS, experimento 2.



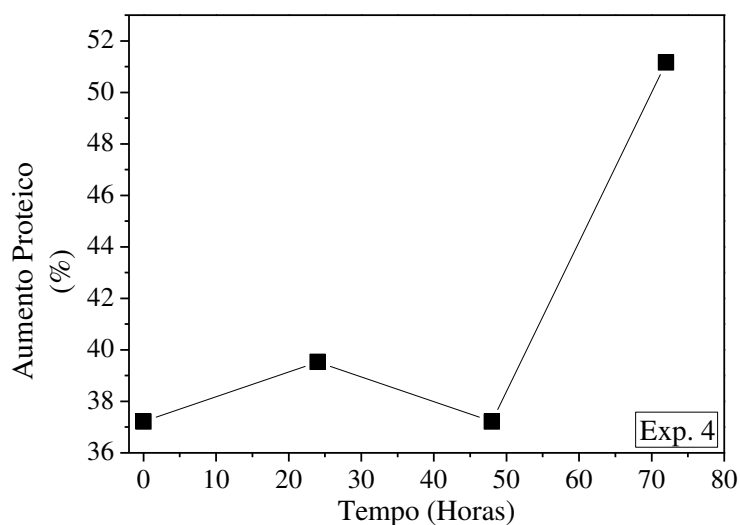
O AP alcançado no experimento 2, após 24 h de processo (Figura 2.3), foi de 75,00 %. O teor de PB do substrato neste experimento aumentou de 8,60 para 10,20 %.

Figura 2.4. Cinética do aumento proteico durante a FSS, experimento 3.



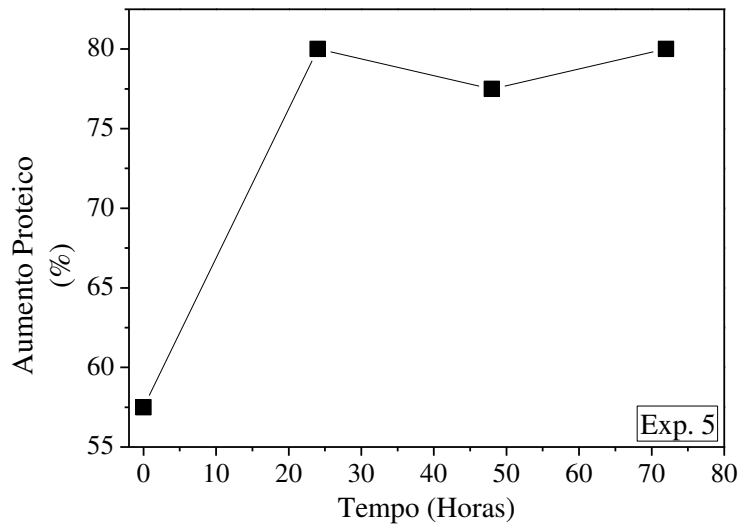
Para o experimento 3, o maior teor proteico encontrado foi de 11,08 %, que correspondeu a um incremento de 38,18 %, para o tempo de 24 h. Este tempo é observado no pico apresentado pela Figura 2.4.

Figura 2.5. Cinética do aumento proteico durante a FSS, experimento 4.



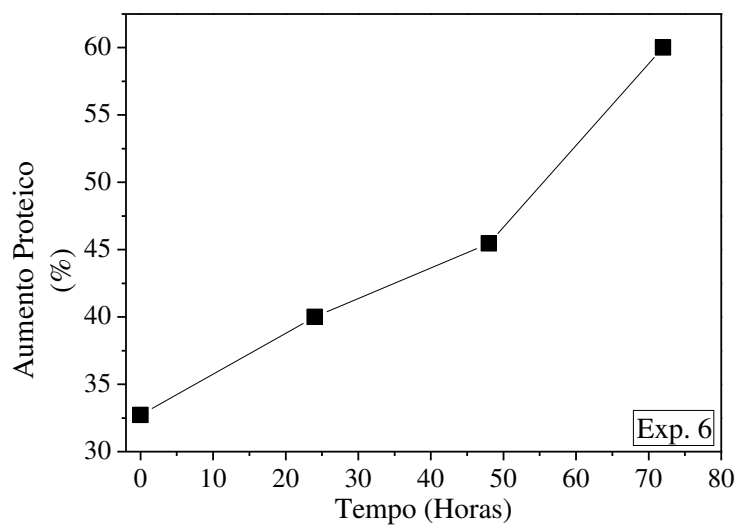
Após 72 h de fermentação, o substrato do experimento 4 obteve um aumento de 51,16 %, aumentando a PB de 8,60 % para 9,47 %, conforme Figura 2.5.

Figura 2.6. Cinética do aumento proteico durante a FSS, experimento 5.



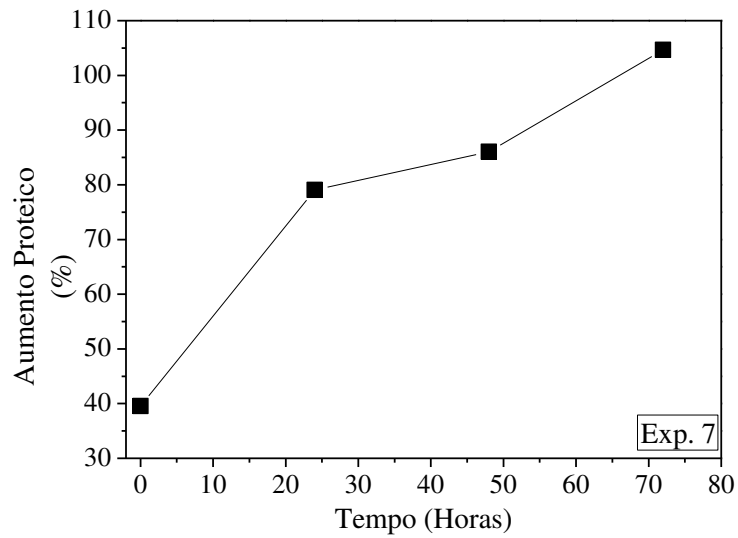
De acordo com a Figura 2.6, o experimento 5 alcançou um AP de 80,00 %. Este aumento foi alcançado após 24 h de fermentação.

Figura 2.7. Cinética do aumento proteico durante a FSS, experimento 6.



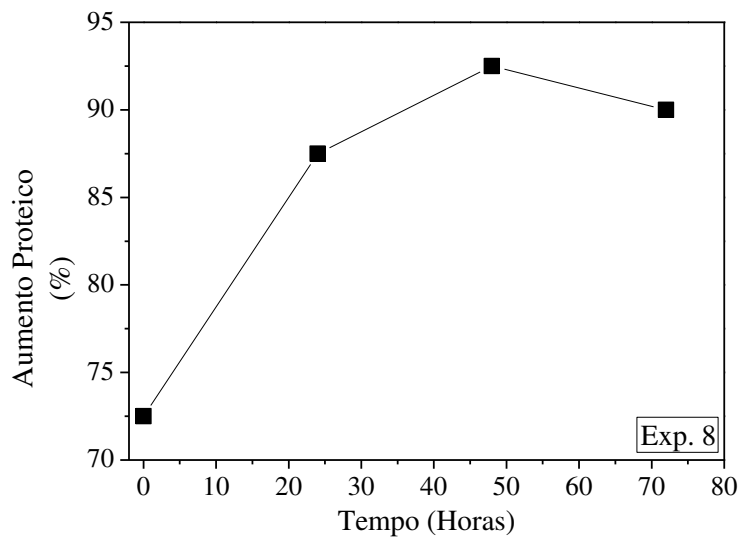
Após 72 h de fermentação, o substrato do experimento 6 obteve um aumento de 60,00 %, conforme Figura 2.7.

Figura 2.8. Cinética do aumento proteico durante a FSS, experimento 7.



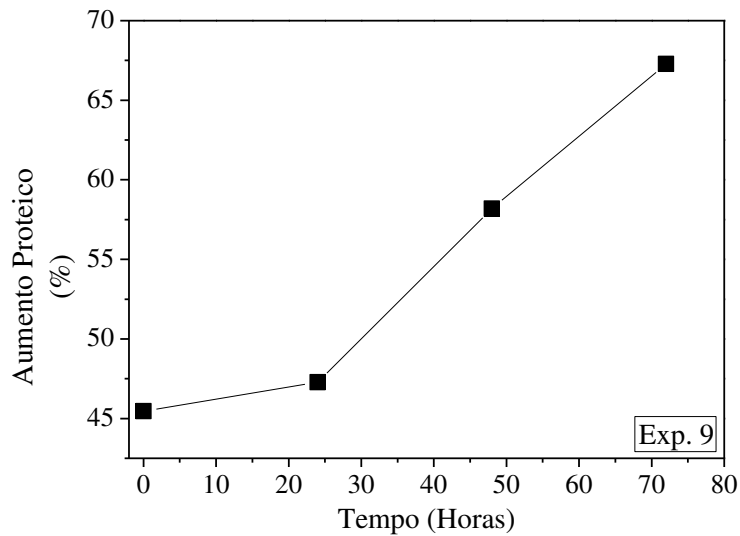
De acordo com a Figura 2.8, o experimento 7 alcançou um AP de 104,65 %. Este aumento foi alcançado com 72 h de fermentação.

Figura 2.9. Cinética do aumento proteico durante a FSS, experimento 8.



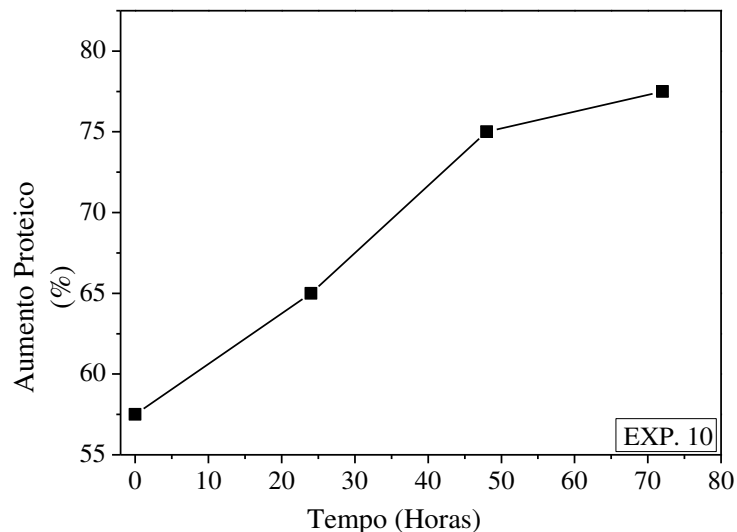
Após 48 h de fermentação, o substrato do experimento 8 obteve um aumento de 92,50 %, como pode ser observado na Figura 2.9.

Figura 2.10. Cinética do aumento proteico durante a FSS, experimento 9.



Para o experimento 9 (Figura 2.10) após 72 h de fermentação, o maior valor alcançado de AP foi de 67,27 %.

Figura 2.11. Cinética do aumento proteico durante a FSS, experimento 10.



Após 72 h de fermentação, o maior valor alcançado de AP foi de 77,50 %, para o experimento 10, conforme pode-se observar na Figura 2.11.

Melo et al. (2010) quando avaliaram a influência da concentração de inóculo no aumento proteico da palma forrageira do Sertão Pernambucano, com *S. cerevisiae*. Foram

utilizadas concentrações de 1, 3 e 5 % de levedura, sendo os melhores resultados obtidos com 1% de levedura, com 24 h, chegando a um teor de proteína bruta de 33,36 %. Com 3 %, o maior teor de PB foi de 27,32 % com 8 h com 5 %, foi de 25,26 % com 55 h de fermentação. Os autores concluíram que poderia ter ocorrido inibição do processo fermentativo por micro-organismos, já que não houve aumento no teor de proteína bruta com o aumento da concentração de levedura.

Segunda Silva (2015) é importante que se consiga obter uma quantidade de produto desejada, com uma menor concentração de inóculo, para que não se eleve muito os custos da produção, além do que, altas concentrações podem exaurir o meio, fazendo com que os nutrientes presentes no substrato sejam consumidos nas primeiras horas, causando uma redução no desenvolvimento dos micro-organismos ou até mesmo a morte. Oliveira (2007) cita, além desses problemas relacionados com altas concentrações, as desvantagens de uma concentração muito baixa de inóculo, que pode favorecer o aparecimento de contaminantes.

2.5.4 Planejamento Experimental

A Tabela 2.10 apresenta a matriz do planejamento fatorial utilizado no processo de enriquecimento proteico da casca de jaca associada ao bagaço com os melhores valores de AP com o correspondente valor alcançado de PB de cada experimento durante as 72 h de fermentação, com o intuito de avaliar a influência das variáveis escolhidas sobre o teor proteico do substrato.

Tabela 2.10. Resultados das respostas para o aumento proteico da casca de jaca associada ao bagaço (eixo e pívide).

| Experimentos | Concentração | Concentração | Proteína | Aumento |
|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| | de levedura | de bagaço | bruta | proteico |
| | Nível | | % | |
| 1 | -1 | -1 | 8,60 | 37,21 |
| 2 | -1 | 0 | 10,20 | 75,00 |
| 3 | -1 | +1 | 11,08 | 38,18 |
| 4 | 0 | -1 | 9,18 | 51,16 |
| 5 | 0 | 0 | 10,50 | 80,00 |
| 6 | 0 | +1 | 12,83 | 60,00 |
| 7 | +1 | -1 | 12,83 | 104,65 |
| 8 | +1 | 0 | 11,22 | 92,50 |
| 9 | +1 | +1 | 13,41 | 67,27 |
| 10 | 0 | 0 | 10,50 | 80,00 |

Considerando que um valor de probabilidade de 95 % ($P < 0,05$) de confiança é satisfatório, foi possível estabelecer um modelo de segunda ordem (Equação 2.2), onde C_L é a concentração de levedura e C_B é a concentração de bagaço, mostrando como resposta uma função AP , cujos valores dos coeficientes foram obtidos pelo programa Statistica. Na equação do modelo empírico, o coeficiente que teve efeito significativo na resposta, ao nível de 95 % de confiança, é mostrado em destaque.

$$AP = 78,75 + \mathbf{8,75 C_L} + 5,00 C_L^2 + 4,42 C_B - \mathbf{23,17 C_B^2} - 9,59 C_L \cdot C_B + 15,38 C_L \cdot C_B^2 - 13,52 C_L^2 \cdot C_B + 1,25 C_L^2 \cdot C_B^2 \quad (2.2)$$

O coeficiente de regressão (R^2) obtido foi igual a 0,999. Isto significa que este modelo de regressão prevê uma boa explicação da relação entre as variáveis independentes (C_L e C_B) e a resposta (AP), ou seja, o modelo proposto consegue explicar com 99,9 %, a variância da resposta. Valores de R^2 devem ser próximos da unidade, o que comprova que os resultados foram satisfatórios (BARROS NETO, SCARMINIO e BRUNS, 1995).

A avaliação estatística do modelo foi determinada pelo teste de Fisher para análise de variância que são mostrados na Tabela 2.11. Os resultados da ANOVA listados demonstram

que o modelo estatístico é significativo e preditivo para a variável de interação C_L (L) e C_B (L), considerando $p < 0,05$.

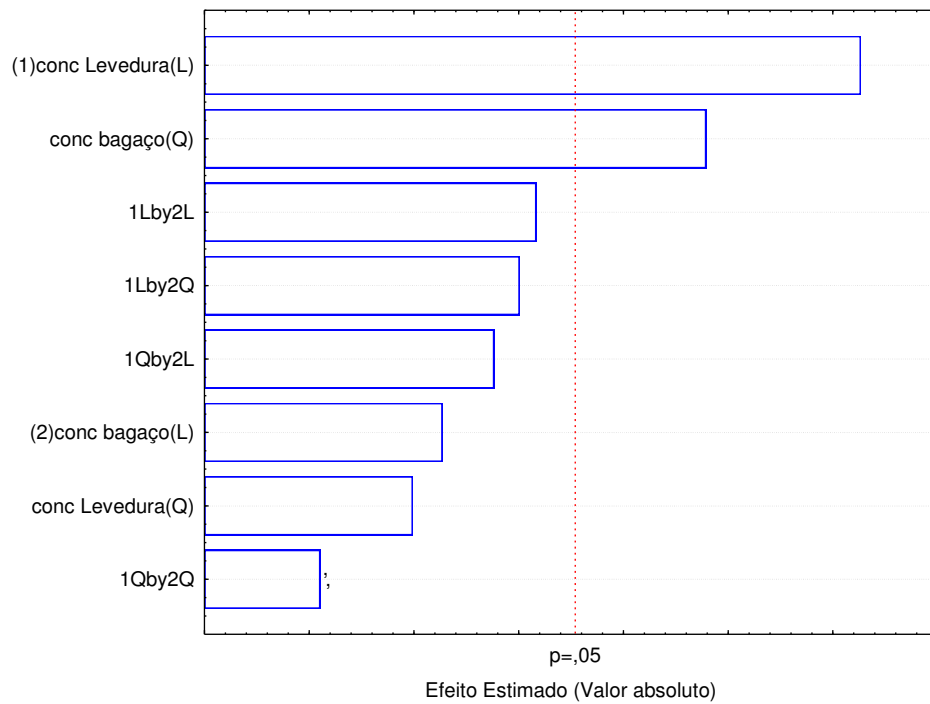
Tabela 2.11. Resultados da ANOVA para o Aumento Proteico (AP).

| Fator | Soma Quadrática | Grau de Liberdade | Média Quadrática | F | P |
|-----------------------|----------------------------|------------------------------|-----------------------------|-----------------|-----------------|
| C_L (L) | 2167,140 | 1 | 2167,140 | 693,4848 | 0,024163 |
| C_L (Q) | 76,519 | 1 | 76,519 | 24,4860 | 0,126944 |
| C_B (L) | 126,684 | 1 | 126,684 | 40,5389 | 0,099177 |
| C_B (Q) | 1122,753 | 1 | 1122,753 | 359,2808 | 0,033555 |
| C_L (L) . C_B (L) | 367,681 | 1 | 367,681 | 117,6578 | 0,058525 |
| Erro | 3,125 | 1 | 3,125 | | |
| Total SS | 4410,893 | 9 | | | |

O diagrama de Pareto apresenta graficamente os efeitos significativos das variáveis de entrada, ao nível de confiança utilizado. Os valores que ultrapassam p são considerados estatisticamente significativos.

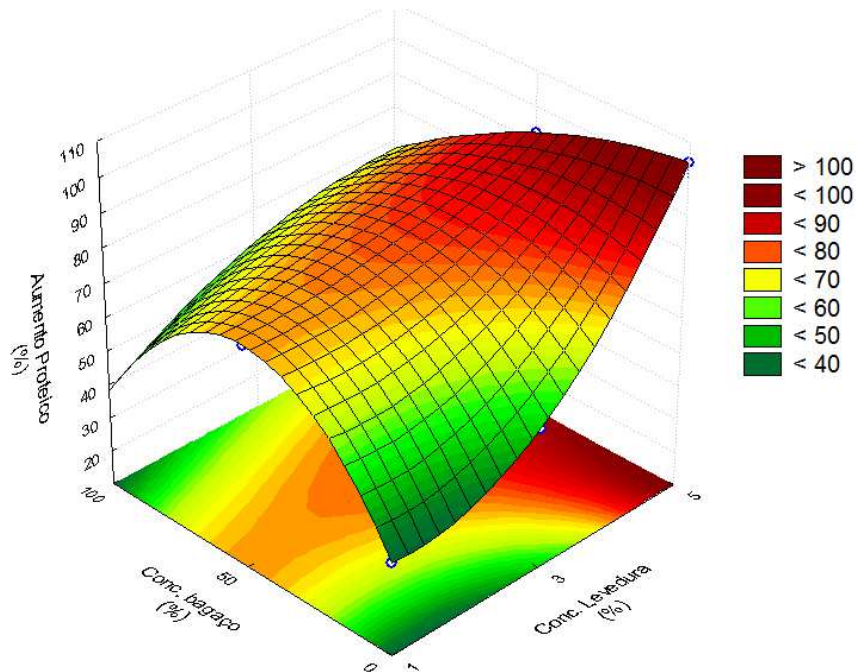
A Figura 2.12 representa o gráfico de Pareto para o aumento proteico, com 95 % de confiança. Neste gráfico verifica-se que a concentração de levedura (linear) e a concentração de bagaço (quadrática) influenciaram no aumento proteico dos resíduos da jaca.

Figura 2. 12. Gráfico de Pareto para o aumento proteico dos resíduos da jaca, com 95 % de confiança.



A Figura 2.13 ilustra a superfície de resposta (obtida pela técnica MSR), da influência da concentração de levedura e da concentração de bagaço, sobre a resposta *AP*, buscando observar tendências. Pode-se verificar dentro da faixa de valores estudada de concentração de levedura e de concentração de bagaço, que as duas variáveis apresentaram influências no *AP*.

Figura 2.13. Superfície de resposta do efeito da concentração de levedura versus concentração de bagaço tendo como resposta o aumento proteico.



Os maiores valores de AP foram encontrados com maiores valores de concentração de levedura e os menores valores de concentração de bagaço (apenas casca de jaca). Analisando o percentual de AP encontrado, podemos observar que tanto a concentração de levedura quanto a concentração de bagaço tiveram influência no AP. Relacionando os valores encontrados na Tabela 2.10, verifica-se que o experimento 7 obteve um AP de cerca de 105 %, o que correspondeu a um percentual máximo de proteína bruta de 13,0 %.

2.6 CONCLUSÕES

A fermentação semissólida a 35 °C com concentrações de 100 % casca de jaca e com inoculação de 3 % de levedura proporcionou o maior aumento proteico encontrado. O AP foi aproximadamente de 104,65 % vezes, tendo como base o teor de proteína do substrato antes da adição da levedura.

O tempo de fermentação necessário para obtenção do maior aumento proteico foi de 72 h de fermentação.

As duas variáveis estudadas, concentração de levedura e concentração de bagaço, apresentaram influência significativa no processo fermentativo dos resíduos da jaca.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, P. M.; KOCK, F.; TROSSINI, T. G.; ESPOSITO, E.; NINOW, J. L. Enriquecimento do bagaço de maçã com proteína fúngica através da fermentação em estado sólido. In: **XIV Simpósio Nacional de Fermentações**, Florianópolis-SC, 2003.
- ARAÚJO, L. F.; MEDEIROS, A. N.; PERAZZO NETO, A.; CONRADO, L. S.; SILVA, F. L. H. Estudo do enriquecimento proteico do Mandacaru sem espinhos (*Cereus jamacaru* P. D. C.) utilizando leveduras por fermentação semissólida. In: **XIV SIMPÓSIO NACIONAL DE FERMENTAÇÃO (SINAFERM)**, Anais de XIV Simpósio Nacional de Fermentação (SINAFERM), UFSC, Florianópolis-SC, 2003.
- ARAÚJO, L. F.; MEDEIROS, A. N.; PERAZZO NETO, A.; OLIVEIRA, L. D. S. C.; SILVA, F. L. H. D. Protein Enrichment of Cactus Pear (*Opuntia ficus indica* Mill.) using *Saccharomyces cerevisiae* in solid-state fermentation. **Braslian Archives of Biology And Tecnology**, v. 48, p.161- 168, 2005.
- ARAÚJO, L. F.; SILVA, F. L. H.; OLIVEIRA, L. S. C.; MEDEIROS, A. N.; PERAZZO NETO, A. Bioconversão do mandacaru sem espinhos (*Cereus jamacaru*) em alimento alternativo para ruminantes. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, v. 3, n. 1, p. 53–57, 2009.
- ASQUIERI, E. R.; RABÊLO, A. M. S.; SILVA, A. G. M. Fermentado de jaca: estudo das características físico-químicas e sensoriais. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 4, p. 881-887, Campinas - SP, 2008.
- BALIGA, M. S.; SHIVASHANKARA, A. R.; HANIADKA, R.; SOUZA, J.; BHATET, H. P. Phytochemistry, nutritional and pharmacological properties of *Artocarpus heterophyllus* Lam (jackfruit): A review. **Food Research International**, v. 44, n. 7, p. 1800- 1811, 2011.
- BARREIROS, D. C. OLIVEIRA, L. S.; FERREIRA, A. L.; DÓREA, J. R. R.; BRANDÃO, L. G. N.; PEREIRA, L. G. R.; AZEVEDO, J. A. G. Composição bromatológica e digestibilidade *in vitro* da infrutescência e componentes da jaca dura e mole. In: Seminário de iniciação científica da UESC. **Anais...**, p. 71-72, Ilhéus, BA, 2006.
- BHARGAV, S.; PANDA, B.; ALI, P. M.; JAVED, S. Solid-state fermentation: an overview. **Chemical and Biochemical Engineering Quarterly**, v. 22, n. 1, p. 49–70, 2008.
- BORZANI, W. **Processo biotecnológico industrial genérico**. Em: BORZANI, W.; SCHMIDELL, W.; LIMA, U. A.; AQUARONE, E. Fundamentos. Ed. Edgard Blücher, v. 1, cap. 9, p. 249-252, São Paulo-SP, 2001.
- BONASSA, G.; TELEKEN, J. G.; SCHNEIDER, L. T.; OLIVEIRA, C. J. **Influência da temperatura e do pH no processo de fermentação**. Anais do III Encontro Paranaense de Engenharia e Ciência, Toledo–PR, 2013.
- CANOILAS, L. M. Enriquecimento proteico de resíduos de farinha de mandioca pelo desenvolvimento de leveduras. Dissertação (Mestrado). Piracicaba-SP, 1991.
- CAMPOS, A. R. N.; SANTANA, R. A. C.; DANTAS, J. P.; SILVA, F. L. H. **Enriquecimento proteico do bagaço do pedúnculo de caju (*Anarcadium occidentale* L.)**

por fermentação semi-sólida. Anais do XIV Simpósio Nacional de Fermentações, Florianópolis, Brasil, 2003.

CAMPOS, A. R. N. **Enriquecimento nutricional da palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill): estudo experimental de ampliação de escala.** Tese (Doutorado em Engenharia de Processos), UFCG, Campina Grande-PB, 2008.

CAMPOS, A. R. N.; SILVA, F. L. H.; GOMES, J. P.; OLIVEIRA, L. S. C.; OLIVEIRA, M. M. Isotermas de adsorção e calor isostérico da palma forrageira enriquecida proteicamente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 6, p. 734-741, 2009.

CORREIA, R. T. P. **Estudo do cultivo semi-sólido em resíduos de abacaxi por *Saccharomyces cerevisiae* e *Rhizopus oligosporus*.** Tese de Doutorado, UFRN, Natal-RN, 2004.

DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. **Química de Alimentos de Fennema.** 4 ed., editora Artmed, 900 p., Porto Alegre-RS, 2010.

DORTA, B.; BOSCH, A.; ARCAS, J.; ERTOLA, R. Water balance in solid state fermentation without forced aeration. **Enzyme Microbiology Technology**, v. 16, n. 7, p. 562-565, 1994.

DUNAND, A.; RENAUD, R.; MARATRAY, J.; ALMANZA, S. Dijon reactors for solid state fermentation: designs and applications. **Journal of Scientific and Industrial Research**, v. 55, n. 3, p. 317-332, 1996.

FERNÁNDEZ, M.; PÉREZ-CORREA, J. R.; SOLAR, I.; AGOSIN, E. Automation of a solid substrate cultivation pilot reactor. **Bioprocess Engineering**, v.16, n. 1, p.1-4, 1996.

HOLANDA, J. S.; OLIVEIRA, A. J. E.; FERREIRA, A. C. Enriquecimento proteico de pedúnculos de caju com emprego de leveduras, para alimentação animal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, n. 5, p.79-81, 1997.

LIMA, H. S. L.; NASCIMENTO, E.; BRÍGIDA, A. I.; ANDRADE, F. K.; BORGES, M. F.; ROSA, M. F. **Aproveitamento do líquido do sisal como substrato para produção de celulose bacteriana.** XIX Simpósio nacional de bioprocessos; X Simpósio de Hidrólise enzimática de biomassas, 4 p., Foz do Iguaçu-PR, 2013.

LONSANE, B. K.; GHILDYAL, N. P.; BUDIATMAN, S.; RAMAKRISHNA, S.V. Engineering aspects of solid state fermentation. **Enzyme and Microbial Technology**, v. 7, n. 6, p. 258-265, 1985.

MACEDO, A. D. B.; SOUSA, A. P. M.; OLIVEIRA, J. A. M.; MATTOS, M. A.; SANTANA, R. A. C., CAMPOS, A. R. N. Enriquecimento proteico da palma forrageira e do sisal por fermentação semissólida. **Revista Saúde & Ciência** (Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências Biológicas e da Saúde). v. 4, n. 3, p. 7-11, 2015.

MAGGIONI, D.; MARQUES, J. A. Resíduos agroindustriais na alimentação de ruminantes: uma revisão. **PUBVET, Publicações em Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 1, n. 6, 2007.

MARTINS, S.; MUSSATTO, S. I.; MARTÍNEZ-AVILA, G.; MONTAÑEZ-SAENZ, J.; AGUILAR, C. N.; TEIXEIRA, J. A. Bioactive phenolic compounds: Production and extraction by solid-state fermentation. A review. **Biotechnology Advances**, v. 29, n. 3, p. 365–373, 2011.

MAUREL, V. B.; ORLIAC, O.; CHRISTEN, P. Sensors and measurements in solid state fermentation: a review. **Process Biochemistry**, v. 38, n. 6, p. 881-896, 2003.

MELO, H. F.; BONINI, B. M.; THEVELEIN, J.; SIMOES, D. A.; MORAIS JÚNIOR, M. A. Physiological and molecular analysis of the stress response of *Saccharomyces cerevisiae* imposed by strong inorganic acid with implication to industrial fermentations. **Journal of Applied Microbiology**, v. 109, n. 1, p. 116-127, 2010.

NAGEL, F. J. J. I.; TRAMPER, J.; BAKKER, M. S.; RINZEMA, A. Temperature control in a continuously mixed bioreactor for solid station fermentation. **Biotechnology and Bioengineering**, v. 72, n. 2, p. 219-230, 2001.

NASCIMENTO FILHO, W. B.; FRANCO, C. R. Avaliação do potencial dos resíduos produzidos através do processamento agroindustrial no Brasil. **Revista Virtual de Química**, v. 7, n. 6, p. 1968-1987, 2015.

NEPA – NÚCLEO DE ESTUDOS E PESQUISAS EM ALIMENTAÇÃO. **Tabela brasileira de composição de alimentos**. Versão II, 2. ed., 113 p., UNICAMP, Campinas, SP, 2006.

NRC (NATIONAL RESEARCH COUNCIL). **Nutrient requirements of domestic animals n° 4. Nutrient requirements of beef cattle**. National Academy of Science, National Research Council, 55 pp.

OLIVEIRA, F. L.; NASCIMENTO, M. R. F.; BORGES, S. V.; RIBEIRO, P. C. N.; RUBACK, V. R. Aproveitamento alternativo da casca do maracujá-amarelo. **Ciências e Tecnologia de Alimentos**, v. 22, n. 3, p. 259-262, 2002.

OLIVEIRA, M. M.; CAMPOS, A. R. N.; SILVA, F. L. H. Enriquecimento nutricional dos resíduos do abacaxi (*Ananas comosus*). **X Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e VI Encontro Latino Americano de Pós-Graduação**, p. 2387–2390, 2006.

OLIVEIRA, M. M. **Enriquecimento nutricional por bioconversão de resíduos agroindustriais para utilização na alimentação animal**. Tese Doutorado, UFCG, Campina Grande-PB, 2007.

OLIVEIRA, J. B. **Enriquecimento proteico do fecheiro po fermentação semissólida**. TTC (Licenciatura em Química), UFCG, Cuité-PB, 2014.

OLIVEIRA JÚNIOR, J. C.; DANTAS, D. L.; APOLINÁRIO, M. O.; PRASAD, S.; CAMPOS, A. R. N. Enriquecimento proteico da palma forrageira e da algaroba por fermentação semissólida. In: **I Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Ciências**. Anais I CONAPESQ, 2016.

PANDEY, A. Recent process developments in solid-state fermentation. **Process Biochemist**, v. 27, n. 2, p. 109-117, 1992.

PANDEY, A.; SOCCOL, C. R.; MITCHELL, D. New developments in solid state fermentation: I-bioprocesses and products. **Process Biochemistry**, v. 35, n. 10, p. 1153–1169, 2000.

PASTORE, G. M.; BICAS, J. L.; MARÓSTICA JUNIOR, M. R. **Biotecnologia de alimentos**. Ed. Atheneu, v. 12, 520 p., 2013.

PERAZZO NETO, A. Determinação de parâmetros para o enriquecimento proteico da algaroba (*Prosopis juliflora*) com *Aspergillus niger*. Tese (Doutorado), 130 p., UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 1999.

PEREIRA, L. G. R.; MAURÍCIO, R. M.; AZEVÊDO, J. A. G.; OLIVEIRA, L. S.; BARREIROS, D. C.; FERREIRA, A. L.; BRANDÃO, L. G. N.; FIGUEIREDO, E. M. P. Composição bromatológica e cinética de fermentação ruminal *in vitro* da jaca dura e mole (*Artocarpus heterophyllus*). **Livestock Research for Rural Development**, v. 19, n. 3, p. 7-12, 2007.

PINTO, L. I. F. ARAÚJO, M. M. N.; AMARAL, N. M.; MELO, S. C. P.; ZAMBELLI, R. A.; PONTES, D. F. Desenvolvimento de bebida alcoólica fermentada obtida a partir de resíduos agroindustriais. **Anais XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química (COBEQ)**, v. 1, n. 2, Florianópolis-SC, 2015.

POLYORACH, S.; WANAPAT, M.; CHERDTHONG, A. Influence of yeast fermented cassava chip protein (YEFECAP) and roughage to concentrate ratio on ruminal fermentation and microorganisms using *in vitro* gas production technique. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v. 27, n. 1, p. 36-45, 2014.

PONTES, C. R. **Enriquecimento proteico do bagaço de caju através de fermentação semissólida utilizando *Aspergillus niger***. Dissertação (mestrado em Tecnologia dos Alimentos), 72 p., UFC, Fortaleza-CE, 2009.

RAIMBAULT, M.; TORO, C. R. Grow of *Rhizopus sp* on ungelatinized cassava flour in solid state fermentation for protein enrichment. In: ROSSOS, S.; LONSANE, B. K.; RAIMBAULT, M.; VINEGRA-GONZALEZ, G. Advances in solid state fermentation. **Kluwer Academic Publishers**. p. 169-181, 1980.

RHISHIPAL, R.; PHILIP, R. Selection of marine yeasts for the generation of single cell protein from prawn-shell waste. **Bioresource Technology**, v. 65, n. 3, p. 255-256, 1998.

ROBINSON, T.; NIGAM, P. Bioreactor design for protein enrichment of agricultural residues by solid state fermentation. **Biochemical Engineering Journal**, v. 13, n. 2-3, p. 197–203, 2003.

RODRIGUES, C. **Desenvolvimento de bioprocesso para produção de ácido cítrico por fermentação no estado sólido utilizando polpa cítrica**. Dissertação (Mestrado em Processos Biotecnológicos), 107 p., UFPR, Paraná-PR, 2006.

ROUSSOS, S.; LONSANE, B. K.; RAIMBAULT, M.; VINIEGRA-GONZALEZ, G. **Advances in Solid State Fermentation**. Springer Science & Business Media, 2013.

SANTOS, R. C.; RIBEIRO FILHO, N. M.; ALSINA, O. L. S.; CONRADO, L. S. Enriquecimento protéico de bagaço do pseudofruto do caju por via fermentativa. **1º Congresso Química do Brasil**, p. 1–6, 2010.

SATO, K.; NAGATANI, M.; SATO, S. A method of supplying moisture to the medium in a solid-state culture with forced aeration. **Journal Fermentation Technology**, v.60, n. 6, p. 607-610, 1982.

SILVA, T. C. DANTAS, P. A. S.; DÓREA, J. R. R.; SANTOS, E. M.; ZANINE, A. M.; PEREIRA, O. G. Populações microbianas, perfil fermentativo e composição de silagens de capim-elefante com jaca. **Revista Archivos de Zootecnia**, v. 60, n. 230, p. 247 – 255, 2011.

SILVA, C. R. G. Enriquecimento proteico de cactáceas por fermentação semissólida. Dissertação (Mestrado em Ciências Naturais e Biotecnologia), 93 p., UFCG, Cuité-PB, 2015.

SILVA, C. E. F.; GAMA, B. M. V.; OLIVEIRA, L. D. M.; ARAUJO, L. T.; ARAUJO, M. L.; OLIVEIRA JUNIOR, A. M.; ABUD, A. D. S. Uso da laranja lima e seus resíduos no desenvolvimento de novos produtos. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v. 10, n. 1, p. 69-96, 2016.

SINGHANIA, R. R.; PATEL, A. K.; SOCCOL, C. R.; PANDEY, A. Recent advances in solid-state fermentation. **Biochemical Engineering Journal**, v. 44, n. 1, p. 13–18, 2009.

SOUSA, A. P. M.; MACEDO, A. D. B.; SILVA, A. P. F.; MATTOS, M. A.; PRASAD, S.; SANTANA, R. A. C.; CAMPOS, A. R. N. **Caracterização física e química de jacas comercializadas no município de Lagoa Seca - PB**. III workshop de ciências naturais e biotecnologia. UFCG, Cuité-PB, 2015.

SOCCOL, C. R.; VANDENBERGHE, L. P. S. Overview of applied solid-state fermentation in Brazil. **Biochemical Engineering Journal**, v. 13, n. 2, p. 205-218, 2003.

SOUZA, J. L. U.; MONTEIRO, R. A. B. Fatores interferentes na fermentação alcoólica para a produção de etanol. **Fazu em revista**, v. 08, p. 100–107, 2011.

SUHET, M. I. Enriquecimento proteico do resíduo da industrialização do abacaxi (*Ananas comosus* Merrill) por fermentação: utilizando fungos filamentosos. Dissertação, 74 p., UFPB. João Pessoa-PB, 1999.

THIEMANN, J. E. Produção de enzimas por fermentação em substrato semi-sólido com especial referência às celulases. **In: Seminário de Hidrólise Enzimática de Biomassas**, p.107-131, 1985.

THOMAS, L.; LARROCHE, C.; PANDEY, A. Current developments in solid-state fermentation. **Biochemical Engineering Journal**, v. 81, p. 146–161, 2013.

UGALDEL, F. Z.; NESPOLO, C. R. Desperdício de Alimentos no Brasil. **Sul Brasil Rural**, v. 154, n. 7, 2015.

UNDERWOOD, E. The mineral nutrition of livestock. London: Academic Press, p.15, 1981.

VAN SOEST, P. J. **Nutritional ecology of the ruminant.** v. 1, 2ª Ed., 476 p., Ithaca: Cornell University, 1994.

WARD, O. P. **Biotechnologia de la Fermentacion.** Zaragoza, 1993.

ZANCANARO JÚNIOR, O. V. In: AQUARONE, E.; BORZANI, W.; SCHMIDELL, W.; LIMA U. A. **Biotechnologia Industrial. Engenharia Bioquímica.** Editora Edgard Blücher Ltda, 1º. ed., vol. 4, p. 183-208, 2001.

Capítulo 3

PROCESSAMENTO DE PRODUTO FARINÁCEO A PARTIR DE RESÍDUOS DE JACA
SUBMETIDOS A DIFERENTES MÉTODOS DE SECAGEM

3.1 INTRODUÇÃO

A jaqueira (*Artocarpus heterophyllus* Lam.), planta nativa da Índia, é bastante cultivada no Brasil (BALIGA et al., 2011), principalmente na região nordeste (DÓREA et al., 2013) com grande êxito, por necessitar de climas quentes e úmidos (FONSECA, 2010). É uma fruteira de grande potencial, devido a sua capacidade de desenvolvimento e alta produtividade (SWAMI et al., 2012).

A jaca é fonte de vitaminas, sais minerais e fibras, componentes imprescindíveis para a nutrição da população. Segundo Jagtap e Bapat (2010), o fruto se torna mais atrativo em virtude de seu aroma e sabor, que as tornam peculiares, principalmente, ao paladar. Sendo assim, a polpa é a parte mais apreciada e perecível, no entanto, boa parte do fruto como a casca, eixo, pívide e sementes são considerados resíduos, cerca de 72 % (SOUSA et al., 2015a).

A produção desta fruta nas regiões produtoras atinge volume expressivo. É um fruto comercializado e consumido quase que exclusivamente na forma *in natura* o que leva a um índice elevado de perda na pós-colheita, por ser perecível (SOUZA et al., 2009). Esse fato evidencia a necessidade de processos simples e baratos que possam oferecer para os produtores aproveitarem melhor o fruto.

Considerando o desperdício proporcionado pelas perdas na cadeia produtiva, a secagem e o uso de secadores é uma alternativa que agrega valores e pode minimizar prejuízos na produção de frutas (SILVA et al., 2015a). Processos que visem uma melhor eficiência de conservação de alimentos favorecem um incremento na renda do produtor e, conseqüentemente, maior disponibilidade de produtos de boa qualidade (ANDRADE et al., 2003; LEITE et al., 2016).

A deterioração de alimentos, como as frutas, está relacionada à quantidade de água disponível, prejudicando a conservação e a oferta por um período maior. A secagem de alimentos é uma das técnicas bastante utilizadas para aumentar a vida útil do produto alimentício (ALEXANDRE et al., 2013). A secagem é um fenômeno que envolve simultaneamente a transferência de calor e massa, podendo abranger ainda a transferência de quantidade de movimento. Torna-se um mecanismo útil para preservar o alimento, de baixo custo e processo muito simples (CELESTINO, 2010). Por meio da secagem, a cinética de secagem é determinada, avaliando o comportamento do produto que é seco, representada pelas curvas de secagem e de taxa de secagem (MENEZES et al., 2013).

Estudos e análises de curvas de secagem e determinação do teor de água permitem entender e visualizar melhor o processo de secagem (VILELA; ARTUR, 2008). O processo de secagem é descrito matematicamente pelos métodos empíricos, teóricos e semiteóricos. Segundo Madamba (2003), a cinética de secagem de produtos, portanto, pode ser descritos por modelos matemáticos.

O método de secagem e o uso de secadores dependem em geral dos níveis de produção e da qualidade do produto que se deseje obter. A utilização dos resíduos da jaca visando o aproveitamento na indústria alimentícia e agroindustrial como uma alternativa sustentável de evitar o desperdício e minimizar problemas ambientais, o processo de secagem em estufa e em forno de micro-ondas (FMO) torna-se uma alternativa, a fim de conservar e prolongar a vida útil do produto.

3.2 OBJETIVOS

3.2.1 Objetivo Geral

Elaborar produto farináceo de resíduos da fruta de *A. heterophyllus* Lam. a partir da secagem convectiva e em forno de micro-ondas.

3.2.2 Objetivos específicos

Avaliar a cinética de secagem dos resíduos da jaca, por secagem convectiva nas temperaturas de 40, 50 e 60 °C e ajustar modelos matemáticos aos dados experimentais do processo;

Elaboração de produto farináceo a partir de resíduos de jaca, em estufa de circulação de ar forçado;

Execução do mapeamento térmico, calibração da potência real de trabalho e verificação da reprodutibilidade dos resultados obtidos utilizando o forno de micro-ondas;

Realização de testes preliminares para determinação da potência do forno de micro-ondas, do tempo de aquecimento e da massa de amostra a ser utilizada na secagem para preparação da farinha;

Avaliar a cinética de secagem da casca da jaca, por secagem em forno de micro-ondas e ajustar modelos matemáticos aos dados experimentais do processo;

Elaboração de produto farináceo a partir da secagem da casca do fruto da jaca em forno de micro-ondas.

3.3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.3.1 Secagem

A secagem de materiais é um fenômeno simultâneo de transferência de massa e energia, a partir do fornecimento de calor, para que haja a remoção de água ou qualquer outro líquido de um material (CELESTINO, 2010; SILVA, 2010; SILVA et al., 2015a). Logo, o estudo da secagem de materiais compreende a determinação das curvas de secagem, como também o estudo do comportamento higroscópico dos materiais (ANDREOLA, 2013).

A secagem de alimentos e materiais biológicos não é considerada um processo simples, pois envolve fenômenos de transferência de calor e massa em regime transiente dificultando o controle de muitas alterações físicas, químicas e bioquímicas que ocorrem nestes materiais (RAMASWAMI; MARCOTTE, 2006).

De acordo com Celestino (2010), a técnica de secagem, portanto, utiliza o ar quente para a transferência de calor para o alimento e a consequente vaporização da água contida nesse, ocorrendo a desidratação. A capacidade do ar para eliminar a água de um alimento depende, principalmente, de sua temperatura e de sua umidade relativa.

O processo de secagem permite conservar e reduzir o teor de água (TA) do produto, possibilitando o aumento de sua vida útil e facilitando o armazenamento por maior período de tempo (PRETTE, 2012). Esta técnica vem sendo constantemente aperfeiçoada para obtenção de produtos com maior qualidade e menor tempo de processamento.

A secagem deve ser monitorada e ajustada para que ocorra de maneira uniforme, evitando elevadas variações de teor de água e temperatura no interior do material, suscetíveis a ocorrer à perda da qualidade do produto (FARIAS et al., 2002).

O TA de um material é um parâmetro de grande importância e indispensável no que diz respeito ao entendimento das mudanças ocasionadas durante o processo de secagem, pois se apresenta em diversas maneiras no material, tais como: TA superficial, TA não ligada e TA ligada ou higroscópica ou dissolvida (STRUMILLO; KUDRA, 1986; ANDREOLA, 2013).

De acordo com Mahayothee et al.(2009); Femenia et al. (2009); Leite et al. (2016), as vantagens de se utilizar esse processo são várias, tais como:

- ✓ Diminuição na atividade de água (aw) e, conseqüentemente, redução das ações microbiológicas;
- ✓ Estabilidade dos componentes aromáticos à temperatura ambiente por longos períodos de tempo;

- ✓ Proteção contra degradação enzimática e oxidativa do produto;
- ✓ Facilidade no transporte, armazenamento e comercialização;
- ✓ Disponibilidade do produto durante qualquer época do ano.

No entanto, Silva et al., 2015a cita como desvantagem, o fato das frutas e seus resíduos poderem sofrer algumas perdas durante o processo de secagem, por exemplo:

- ✓ Encolhimento das partes;
- ✓ Degradação dos pigmentos;
- ✓ Oxidação de alguns nutrientes, como as vitaminas.

Alguns equipamentos são utilizados para facilitar esse processo, é o caso de secadores, como a estufa, que consiste na aplicação do calor produzido artificialmente em condições de temperatura, umidade e corrente de ar controlado. A secagem por estufa com corrente de ar ou também denominada de secagem convectiva de ar quente é o método mais comum na secagem de alimentos (GUINÉ, PINHO; BARROCA, 2011) e a sua maior vantagem é a possibilidade de controle da temperatura e velocidade do ar de secagem, além de ser uma técnica de custo relativamente baixo e operação simples (SILVA et al., 2016a).

Alternativa para o processo de secagem de alimentos, sem comprometer a qualidade e a obtenção de um novo produto, seria a secagem com aplicação de micro-ondas através do equipamento de forno de micro-ondas (FMO). Na secagem de produtos assistida por FMO, a remoção do TA é rápida, devido à presença de água no material ser o principal responsável pela geração interna de calor (ANDREOLA, 2013). Portanto, a secagem em FMO promove uma absorção preferencial das micro-ondas (MO) pelas moléculas de água, pelo aquecimento focalizado, o que torna a aplicação desta energia conveniente, por exemplo, em processos de secagem de alimentos (PEREIRA, 2007).

Algumas vantagens relacionadas à utilização da energia de MO, a saber: o aquecimento instantâneo do material; a eficiência na conversão de energia; menores tempos de operação e possibilidade de aplicação em materiais termossensíveis e, em muitos casos, a obtenção de um produto final de qualidade superior, sem alterar a composição química e funcional do produto final (HORSTEN et al., 1999).

A secagem com aplicação de MO representa um método alternativo aos processos convencionais e os parâmetros a serem considerados durante o processo de secagem referem-se à intensidade de MO aplicada de acordo com a quantidade de material que está sendo seco (densidade de potência) e o modo como a energia é aplicada no material (de forma contínua ou pulsada) (RAGHAVAN; SILVEIRA, 2001).

Estudo referente à aplicação de FMO vem sendo abordado na secagem de produtos agrícolas, como por exemplo, em Dal'Toé e Fiorese (2012) para a secagem da casca de soja, Mata et al. (2015) para a secagem do feijão verde (*Vigna unguiculata* L. Walp), Ribeiro (2012) para tomates (*Lycopersicon esculentum* Mill), dentre outros.

Dal'Toé e Fiorese (2012) avaliaram a aplicabilidade da casca de soja obtidas pelos métodos de secagem em estufa, convecção forçada e MO em três potências, em formulações alimentares, e a análise visual do resíduo seco a diferentes temperaturas. Os resultados mostraram que a secagem da casca não apresentou diferença significativa em relação à estufa normal, convecção forçada e MO à mínima potência, sendo diferente em potência média e máxima, e, por esse motivo, a secagem em diferentes temperaturas foi efetuada em estufa normal.

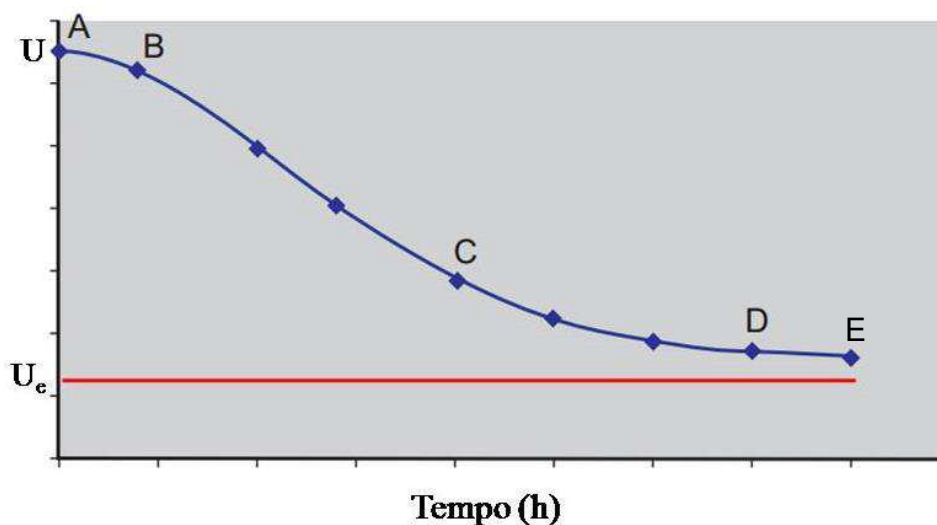
Andreola (2013) avaliou a secagem convectiva combinada com aplicação de micro-ondas em secador de leito fixo. A autora verificou que a aplicação de MO na secagem de cenoura (*Daucus carota* L.) demonstrou ser um método viável, pois acelerou a retirada da umidade do material reduzindo o tempo total da secagem. A secagem com aplicação contínua de MO proporcionou redução de pelo menos 60 % no tempo total de processo em comparação com a secagem puramente convectiva a 80 °C. Para a secagem com aplicação de radiação somente a partir dos 30 min iniciais da secagem esta redução foi de pelo menos 50 %.

3.3.2 Cinética de Secagem

O processo de secagem é representado pelo comportamento das curvas de secagem, que são reproduções gráficas dos dados de TA média da amostra em função do tempo, obtidos experimentalmente. Sendo assim, a cinética de secagem relaciona a velocidade com que um material perde TA, dependendo de variáveis específicas: temperatura, velocidade do ar de secagem e umidade relativa do ar, com o tempo do processo. (ANDREOLA, 2013; LEITE et al., 2016).

A partir da determinação da cinética de secagem é possível prever o tempo de secagem e a quantidade de água evaporada do material. O comportamento característico da curva de secagem e a taxa de secagem (período constante), em função do teor de água, estão representados na Figura 3.1.

Figura 3.1. Curva de secagem do produto durante o processo de secagem.



Fonte: Adaptada de Celestino (2010).

Em que:

U - teor de água médio;

U_e - teor de água de equilíbrio.

Com o início da secagem, o segmento AB representa a taxa de secagem, que é definida como sendo a quantidade de TA removida da amostra na unidade de tempo por unidade de superfície de secagem (STRUMILLO; KUDRA, 1986), e corresponde ao período em que a temperatura da amostra se adapta as condições de secagem, e sua temperatura atinge um valor constante. Durante o segmento BC, o período de secagem à taxa constante, sendo esta taxa de secagem independente do TA total do material em cada instante. A superfície da amostra encontra-se saturada de água, ou seja, a água evaporada é a água livre, não apresenta resistência em evaporar, e a transferência de massa e de calor é equivalente, assim, a velocidade de secagem é constante (CELESTINO, 2010; LEITE et al., 2016).

A partir daí, a temperatura da superfície aumenta e a taxa de secagem decresce rapidamente. O ponto C representa o fim do período de secagem constante, e o TA, é conhecido como TA crítica. O segmento CD representa o período onde ocorre este decréscimo. Este período se modifica continuamente durante todo o processo de secagem sendo reduzido também a cada instante. Nesse período, a superfície em função do tempo, fica cada vez menos úmida já que a velocidade do movimento do líquido para a superfície é inferior a transferência de massa da superfície (CELESTINO, 2010; PRETTE, 2012).

Portanto, a característica da estrutura interna da amostra é um fator importante para o entendimento deste mecanismo (STRUMILLO; KUDRA, 1986).

A partir do ponto crítico (C), o comportamento da curva aproxima-se assintoticamente do conteúdo de TA de equilíbrio do material, que é representado pelo ponto E.

O ponto D representa o segundo momento de velocidade decrescente e é a fase final da secagem, em que ocorre a completa evaporação no interior do material e o vapor retirado da amostra difunde-se através deste até a superfície e em seguida, através da corrente de ar, diminuindo a taxa de secagem. Portanto, o TA da amostra diminui até alcançar o TA de equilíbrio para as condições de temperatura e umidade relativa do ar. Quando o TA de equilíbrio (teor mínimo) (ponto E) é alcançado, encerra-se o processo de secagem (CELESTINO, 2010).

3.3.3 Modelos matemáticos

Os modelos matemáticos são importantes, pois representam, satisfatoriamente, a perda de água durante o processo de secagem e informam a predição dos tempos de secagem, além de contribuir para o desenvolvimento de possíveis equipamentos que melhorem esse processo (SILVA; ALVES, 2009). Sendo assim, vários modelos matemáticos têm sido propostos para descreverem o comportamento das curvas de secagem do material.

Os métodos para analisar a secagem de produtos alimentícios são descritos, como os métodos teóricos, empíricos e semi-empíricos. No entanto, as relações semi-empíricas e empíricas são as que melhor representam o processo de secagem, pois se baseiam em variáveis externas ao produto, como a temperatura e a umidade relativa do ar de secagem. Entretanto, consideram que todo o processo de secagem ocorre somente no período de taxa decrescente (BROOKER; BAKER-ARKEMA; HALL, 1992).

O método empírico utiliza dados experimentais que podem ser determinados em laboratório e na utilização da análise adimensional. Tal método geralmente se baseia nas condições externas de secagem, não fornecendo indicações sobre o transporte de energia e massa no interior do produto (FORTES; OKOS, 1980; ALEXANDRE et al., 2009; LEITE et al., 2016). O modelo Exponencial de Dois termos ou apenas Dois Termos é o mais indicado (SILVA et al., 2014).

Os modelos semi-empíricos sugerem uma harmonia entre a teoria e a facilidade de uso. Esses modelos se baseiam, de modo geral, na Lei de Newton para resfriamento aplicado

à transferência de massa (INCROPERA; DEWITT, 1992; MARTINAZZO et al., 2007). Quando se aplica esta Lei, subentende-se que as condições sejam isotérmicas e que a resistência à transferência de umidade se restrinja apenas à superfície do produto (BROOKER; BAKER-ARKEMA; HALL, 1992). Entre os modelos semi-empíricos, o de Henderson e Pabis e o de Page, têm sido amplamente utilizados (PANCHARIYA; POPOVIC; SHARMA, 2002).

O modelo da Aproximação da Difusão indica que a difusão é o mecanismo físico mais provável a governar o movimento do TA, através da estrutura da amostra, ou seja, a velocidade de secagem é controlada pela velocidade de difusão do líquido por meio do sólido, não apresentando um período de taxa constante definido (SANTOS et al., 2016).

Durante a análise dos modelos matemáticos e a simulação do processo de secagem, diversos estudos compararam satisfatoriamente os coeficientes dos modelos ajustados aos parâmetros de secagem, principalmente as variáveis temperatura, umidade relativa e a vazão do ar (MARTINAZZO et al., 2007).

Os estudos da cinética de secagem têm despertado o interesse de vários pesquisadores para os mais diferentes produtos. Na literatura, diversos modelos matemáticos têm sido utilizados para descrever a cinética de secagem para produtos agrícolas: cajá (*Spondias lutea* L.) (GOUVEIA et al., 2003), banana verde (*Musa* spp.) (GERMANO, 2016), carambola (*Averrhoa carambola* L.) (LEITE et al., 2016), fruto da palma (*Opuntia ficus indica*) (SANTOS et al., 2016), dentre outros.

O modelo de Newton (TOGRUL; PCHLIVAN, 2002) é representada de acordo com a equação (3.1):

$$RX = \exp(-k.t) \quad (3.1)$$

Em que:

RX- razão de teor de água (adimensional);

k- constante de secagem do modelo de Newton;

t- tempo (min).

Uma modificação do modelo foi proposta por Page (1949) com a adição de mais um parâmetro na equação que visa um melhor ajuste experimental e representa satisfatoriamente a perda de TA de produtos alimentícios durante o processo de secagem (CÔRREA et al., 2007). A representação da equação do modelo de Page é, portanto:

$$RX = \exp (-k.t^n) \quad (3.2)$$

Em que:

RX- razão de teor de água (adimensional);

k - constante de secagem do modelo de Page;

n- parâmetro de ajuste do modelo;

t - tempo (min).

O parâmetro k do modelo de Page está relacionado com o efeito das condições internas durante a secagem, enquanto que o parâmetro n está relacionado com o efeito das condições externas (VIEIRA, 2006). Segundo Pereira (2007), o modelo de Page tem apresentado ajustes satisfatórios para os dados de secagem de produtos alimentícios com aplicação de micro-ondas.

Na literatura, o modelo de Henderson e Pabis (1961) tem sido amplamente utilizado, principalmente com produtos agrícolas, como sementes, grãos, frutos e em algumas espécies de plantas (PANCHARIYA; POPOVIC; SHARMA, 2002), e é descrito conforme a equação (3.3):

$$RX = a.\exp (-k.t) \quad (3.3)$$

Em que:

RX- razão de teor de água (adimensional);

k - constante de secagem do modelo de Henderson e Pabis;

a - parâmetro de ajuste do modelo;

t = tempo (min).

O modelo matemático de Dois Termos (HENDERSON, 1974) pode ser representado pela equação (3.4):

$$RX = a.\exp (-k_0.t) + b.\exp (-k_1.t) \quad (3.4)$$

Em que:

RX- razão de teor de água (adimensional);

K₀, k₁- constantes de secagem do modelo de Dois Termos;

a, b- coeficientes de ajuste do modelo;

t- tempo (min).

A seguir está representada a equação (3.5) do modelo matemático de Aproximação de Difusão (CORRÊA et al., 2010):

$$RX = a.\exp (-k.t) + (1-a) \exp (-k.b.t) \quad (3.5)$$

Em que:

RX- razão de teor de água (adimensional);

k - constantes de secagem do modelo de Aproximação de Difusão;

a, b - coeficientes de ajuste do modelo;

t - tempo (min).

3.4. METODOLOGIA

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Bioquímica e Biotecnologia de Alimentos da Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Educação e Saúde (UFCG/CES).

As jacas que foram utilizadas nesse estudo foram adquiridas, selecionadas e submetidas a tratamento prévio de lavagem e sanitização, bem como corte para a separação de seus componentes, conforme citado no item 1.4.1 do capítulo 1.

As matérias-primas utilizadas foram os resíduos da jaca constituído por: casca, eixo e pívide que foram processadas de acordo com o item 2.4.1 do capítulo 2. Em seguida os materiais foram dispostos individualmente em bandejas circulares de alumínio, com dimensões 24 cm de diâmetro e 2 cm de altura

3.4.1 Cinética de Secagem em Estufa

A cinética de secagem foi realizada em uma estufa com circulação forçada de ar (marca American Lab, modelo AL 102/480), nas temperaturas de 40, 50 e 60 °C. A faixa de temperatura foi determinada com base em temperaturas usualmente utilizadas para produtos alimentícios, sendo estas as mais recomendadas independentes do método de secagem (MELO; RADÜNZ; MELO, 2004; SILVA et al., 2016b).

Antes do início de cada secagem, foram retiradas amostras dos resíduos para determinação do teor de água inicial (X_0), do item 1.5.1 do capítulo 1. Em seguida, o conjunto (bandeja + amostra) foi pesado em balança semi-analítica, da marca RADWAG, modelo WTB 2000 (máx. 2000 g; $e = 0,01$ g) e disposto na estufa para o início do processo.

Os experimentos foram realizados em duplicata. As leituras em relação à perda de massa de cada amostra foram realizadas em intervalos de tempos distintos ao longo dos experimentos, onde as amostras eram retiradas da estufa, resfriadas em dessecador até temperatura próxima da ambiente, pesadas e recolocadas rapidamente no equipamento, até atingirem o teor de água de equilíbrio, obtendo-se com isto, dados que relacionavam a massa da amostra com o tempo de secagem. Ao final de cada processo, as amostras de resíduos foram submetidas à determinação do TA final.

Determinou-se o teor de água de equilíbrio (X_e) através de pesagens consecutivas em intervalos de tempo, inicialmente de 5 em 5 min para os primeiros 30 min, de 30 min para os

30 min seguintes e de 60 em 60 min até que as amostras atingissem peso constante. Após a obtenção das massas, calculou-se o teor de água (X) e a razão de teor de água (RX) para as amostras em cada temperatura e intervalo de tempo.

As curvas de secagem foram obtidas pela conversão dos dados referentes à perda de água no parâmetro adimensional razão de teor de água (RX), para as diferentes condições de secagem dos resíduos da jaqueira, de acordo com a equação 3.6:

$$RX = \frac{X - X_e}{X_0 - X_e} \quad (3.6)$$

Em que:

RX- razão de teor de água;

X- teor de água, base seca (b.s.);

X_e-teor de água de equilíbrio (b.s.);

X₀ - teor de água inicial (b.s.).

3.4.1.1 Modelos Matemáticos

Os modelos matemáticos de Newton, Page, Henderson e Pabis, Dois Termos e Aproximação da Difusão estão descritos na Tabela 3.1, e foram ajustadas as curvas experimentais de secagem. Para o ajuste de cada equação matemática aos dados experimentais, realizaram-se as análises de regressão não-linear pelo método Quasi-Newton, empregando-se o programa computacional Statistica 8.0.

Tabela 3.1. Modelos de regressão não-linear aplicados às curvas de secagem de resíduos de *Artocarpus heterophyllus* Lam.

| Modelo | Equação | Referência |
|-------------------|--|--------------------------|
| Newton | $RX = \exp(-k.t)$ | (TOGRUL; PCHLIVAN, 2002) |
| Page | $RX = \exp(-k.t^n)$ | (PAGE, 1949) |
| Henderson e Pabis | $RX = a.\exp(-k.t)$ | (HENDERSON; PABIS, 1961) |
| Dois termos | $RX = a.\exp(-k_0.t) + b.\exp(-k_1.t)$ | (HENDERSON, 1974) |

$$\text{Aproximação da difusão} \quad RX=a.\exp(-k.t)+(1-a)\exp(-k.b.t) \quad (\text{CÔRREA et al., 2010})$$

Em que:

RX - razão de teor de água (adimensional);

t: tempo (min);

a, b, k, k₁ e n - parâmetros dos modelos.

Os critérios utilizados para determinação do melhor ajuste das equações aos dados experimentais foi o coeficiente de determinação (R^2) e o desvio quadrático médio (DQM), calculado pela equação 3.7:

$$DQM = \sqrt{\frac{\sum(RX_{\text{exp}} - RX_{\text{pre}})^2}{N}} \quad (3.7)$$

Em que:

DQM - desvio quadrático médio;

RX_{exp} - razão de teor de água experimental;

RX_{pre} - razão de teor de água predito;

N- número de dados experimentais.

3.4.1.2 Obtenção de Produto Farináceo A Partir dos Resíduos da Jaca por Secagem Convectiva

Após realização de cinética de secagem em estufa de circulação de ar, selecionou-se a temperatura e o tempo de secagem para elaboração da farinha. Posteriormente à secagem, o produto foi então triturado em moinho (marca Bermar Indústria e Comércio LTDA, modelo BM 3-IPx1 do tipo moedor de café) para obtenção do produto. Este foi acondicionado em embalagens de polietileno de baixa densidade seladas a vácuo e, devidamente, etiquetado para posteriores análises físicas e químicas.

3.4.2. Mapeamento Térmico do FMO

Visando determinar o ponto de maior incidência da irradiação na cavidade do FMO e, utilizar esse dado posteriormente na obtenção da farinha da casca de jaca, foi realizado o

mapeamento da distribuição da radiação por dois diferentes procedimentos: secagem de solução aquosa de CoCl_2 e variação da temperatura da água.

✓ **Mapeamento por meio da secagem de solução aquosa de CoCl_2**

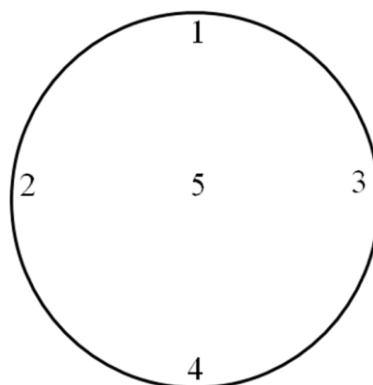
Utilizou-se uma solução de $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 4% (m/v) e papel toalha absorvente. O papel foi fixado no prato e embebido com a solução de CoCl_2 , em seguida, irradiou-se à potência máxima do forno por 60 s. Os experimentos foram realizados com o prato girando e com o prato fixo na cavidade do forno (ROSINI; NASCENTES; NÓBREGA, 2004).

✓ **Mapeamento através da verificação da temperatura da água**

Para a execução destes experimentos foram utilizados béqueres de polipropileno de 250 mL e termômetro digital tipo espeto, marca Termometro, modelo SH -113, escala de temperatura de -50 a $+300$ °C, exatidão da leitura de ± 2 °C.

Foram marcados cinco pontos simétricos no prato do FMO, conforme Figura 3.2. Colocou-se 50 mL de água nos béqueres e mediu-se a temperatura antes e após a irradiação. Os béqueres foram irradiados simultaneamente por 120 s à potência máxima, com o prato girando e depois fixo. Procedimento similar foi adotado para o estudo das posições separadamente, no qual se aqueceu apenas um béquer por vez (ROSINI; NASCENTES; NÓBREGA, 2004).

Figura 3.2. Disposição dos béqueres no prato giratório do FMO para mapeamento térmico.



3.4.3 Calibração da Potência Real de Trabalho do FMO

Em um béquer foi colocado 1 L de água, com temperatura inicial de 23 ± 2 °C, posicionado no local de maior incidência de radiação da cavidade do forno. O aquecimento foi realizado por 120 s, nas potências programadas de 100, 80, 60, 40, 20 %, consecutivamente. Após o aquecimento, registrou-se a temperatura final. Foram realizadas três medidas para cada potência (SILVA; SOUZA, 2000).

O cálculo da potência real de trabalho do FMO foi realizado conforme Equação 3.8.

$$P = \frac{K \cdot C_p \cdot m \cdot (\Delta T)}{t} \quad 3.8$$

Em que:

P - potência real de trabalho, (W - J.s⁻¹);

K - fator de conversão: cal/s → W (4,184 W. s. cal⁻¹);

C_p - capacidade calorífica da água, (cal. g⁻¹ °C⁻¹);

m - massa da amostra de água, (g);

ΔT - variação de temperatura observada, (°C);

T - tempo de irradiação, (s).

As condições experimentais utilizadas foram: capacidade calorífica da água a 25 °C = 0,9997 cal g⁻¹ °C⁻¹, massa de amostra de água = 1000 g, tempo de irradiação = 120 s.

3.4.4 Verificação da Reprodutibilidade dos Resultados Obtidos Utilizando o FMO

A reprodutibilidade de aquecimento do FMO foi verificada realizando ensaios (em triplicata) de aquecimento de 100 mL de água em um béquer de 250 mL, posicionado no local de maior incidência das micro-ondas (programado na potência máxima de 100 %). O aquecimento foi realizado de 0 a 120 s, medindo-se a temperatura em intervalos regulares de tempo de 10 s. A determinação da temperatura foi realizada após breve agitação. A partir destes dados, foi construído um gráfico de temperatura em função do tempo (BARBOZA et al., 2001).

3.4.5 Cinética de Secagem em Forno de Micro-Ondas (FMO)

A cinética de secagem do resíduo casca de jaca foi realizada em FMO, com potência de 50 %, e massa de amostra de 50 g. As leituras contínuas em relação à perda de massa de cada amostra foram realizadas em intervalos regulares, sendo de 2 em 2 minutos para os 10 primeiros min e 5 em 5 min, até que as amostras atingissem peso constante.

As curvas de secagem foram obtidas pela conversão dos dados descritos no item 3.4.1 e a aplicação dos modelos matemáticos e os critérios utilizados para determinação do melhor ajuste das equações aos dados experimentais foram aplicados conforme o item 3.4.1.1 deste mesmo capítulo.

3.4.5.1 Obtenção de Produto Farináceo A Partir da Secagem da Casca de Jaca em FMO

Para a obtenção da farinha a partir da secagem da casca de jaca em FMO, foram realizados testes preliminares com intuito de fixar parâmetros operacionais do FMO (potência e tempo de aquecimento) e, também determinar a massa inicial de amostra a ser utilizada na preparação da farinha.

Com base nos resultados dos testes, foi estabelecida uma rampa de aquecimento e a potência do FMO a ser utilizada. Em cada intervalo de ciclo regular, a amostra seca em FMO foi desprendida do recipiente com uma espátula, a fim de evitar a fixação na sua superfície e também com intuito de se evitar possibilidade de combustão e garantir a homogeneidade do aquecimento no material (UNDERSANDER; MERTENS; THIEX, 1993). A água do béquer foi trocada a cada nova sequência para evitar que entrasse em ebulição e derramasse água nas amostras, alterando seu teor de água e aumentando o tempo de secagem. O procedimento foi realizado em duplicata.

Ao fim do aquecimento, foi determinado o teor de água (TA) final das amostras, e o produto final foi tratado conforme item 3.4.1.2 deste capítulo.

3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.5.1 Cinética de Secagem em Estufa

Verificam-se, nas Tabelas 3.2, 3.3 e 3.4, os valores dos parâmetros dos modelos de Newton, Page, Henderson e Pabis, Dois Termos e Aproximação da Difusão ajustados aos dados experimentais das curvas de cinéticas de secagem dos resíduos casca, eixo e pívide de jaca, com os correspondentes coeficientes de determinação (R^2) e desvios quadráticos médios (DQM) para as temperaturas de 40, 50 e 60 °C. Observou-se que todos os modelos matemáticos proporcionaram bons ajustes aos dados experimentais em razão de terem apresentado R^2 superiores a 96 % e DQM inferiores a 0,056.

O modelo matemático de Page e o da Aproximação da Difusão foram os que melhor representaram os dados experimentais para prever a cinética de secagem dos resíduos de jaca, em virtude de apresentarem os maiores R^2 e menores DQM, quando comparado aos outros modelos testados. No entanto, o modelo de Page foi o mais indicado para representar o fenômeno de secagem dos resíduos devido a sua simplicidade de aplicação e, segundo Côrrea et al. (2007), é o modelo mais recomendado e aplicado para prever o processo de secagem de diversos produtos agrícolas.

Este modelo apresentou R^2 superior a 99,0 % e valores de DQM inferiores a 0,0356, indicando uma representação satisfatória do fenômeno em estudo para o resíduo casca (Tabela 3.2). Resultados semelhantes foram observados no estudo da cinética de secagem de cascas de cajá (*Spondias mombin* L.) e umbu-cajá em estufa de circulação de ar a 50, 60 e 70 °C, os modelos matemáticos de Page e Midilli et al. ajustaram-se satisfatoriamente aos dados experimentais para a descrição da cinética de secagem, com coeficientes de determinação superiores a 0,99 (SOUSA et al., 2015b).

Madureira, Melo e Silva Filho (2011) secaram a polpa do figo-da-índia em estufa de circulação de ar em camada fina nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C e verificaram que os modelos de Lewis, Henderson e Pabis, Logarítmico e Page se ajustaram bem aos dados experimentais da secagem, no entanto, o modelo de Page apresentou os melhores ajustes para o conjunto de condições estudadas.

Tabela 3.2. Parâmetros de ajuste dos modelos das curvas de cinética de secagem da casca de jaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam.), para as diferentes temperaturas.

| Modelos | T (°C) | Parâmetros | | | | | R ² | DQM |
|------------------------|-----------|------------|----------|---------|----------------|--------|----------------|---------|
| | | a | k | b | k ₁ | n | | |
| Newton | 40 | - | 0,004542 | - | - | - | 99,003 | 0,04013 |
| | 50 | - | 0,005834 | - | - | - | 98,629 | 0,04569 |
| | 60 | - | 0,008066 | - | - | - | 97,957 | 0,05832 |
| Page | 40 | - | 0,001138 | - | - | 1,2502 | 99,800 | 0,01796 |
| | 50 | - | 0,002082 | - | - | 1,1956 | 99,168 | 0,03558 |
| | 60 | - | 0,001469 | - | - | 1,3551 | 99,560 | 0,02707 |
| Henderson e Pabis | 40 | 1,0322 | 0,004725 | - | - | - | 99,202 | 0,03592 |
| | 50 | 1,0106 | 0,005919 | - | - | - | 98,653 | 0,04528 |
| | 60 | 1,05299 | 0,008729 | - | - | - | 98,488 | 0,0502 |
| Dois Termos | 40 | 0,5253 | 0,004538 | 0,5253 | 0,004543 | - | 99,000 | 0,04019 |
| | 50 | 0,5064 | 0,005919 | 0,50417 | 0,005919 | - | 98,653 | 0,04528 |
| | 60 | 0,5252 | 0,008729 | 0,5278 | 0,008729 | - | 98,488 | 0,05018 |
| Aproximação da Difusão | 40 | -56,693 | 0,008064 | 0,9879 | - | - | 99,821 | 0,01700 |
| | 50 | -98,522 | 0,009748 | 0,9939 | - | - | 99,290 | 0,03287 |
| | 60 | -309,37 | 0,01567 | 0,9975 | - | - | 99,521 | 0,02824 |

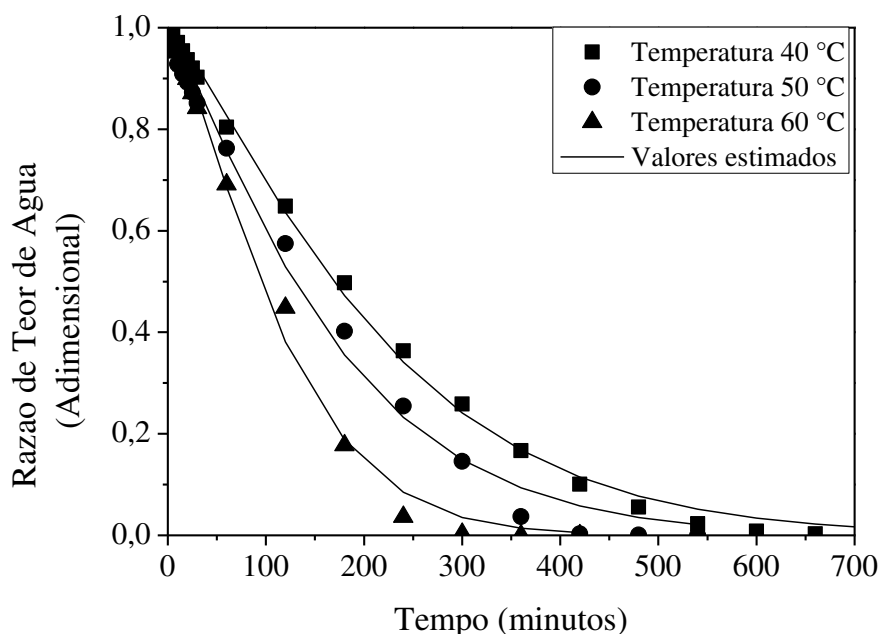
O parâmetro k, do modelo de Page, que representa a constante da taxa de secagem, aumentou com o aumento da temperatura para 50 °C reduzindo-se na temperatura de 60 °C. Resultados semelhantes foram encontrado por Goneli et al. (2009). De acordo com o mesmo autor, a constante k representa o efeito das condições externas de secagem, e tende a aumentar com a elevação da temperatura do ar de secagem, embora para a equação de Page tenha sido sensivelmente menor na temperatura de 60 °C em relação à de 50 °C. Para Côrrea et al. (2007), o parâmetro k tende a aumentar com a elevação da temperatura do ar de secagem.

A constante n de secagem obteve o comportamento inverso, ou seja, a constante n diminuiu com o aumento da temperatura para 50 °C e aumentou na temperatura de 60 °C. Sousa et al. (2008) estudaram os efeitos das condições de secagem de torta de mamona (*Ricinus communis* L.) nas espessuras de camadas de 1 e 3 cm, nas temperaturas de 50, 60, 70 e 80 °C e verificaram quanto ao parâmetro k da equação de Page que seus valores aumentaram com a elevação da temperatura. Silva et al. (2004) observaram que o parâmetro n

tem efeito moderador para corrigir os possíveis erros resultantes da resistência interna à transferência de teor de água.

Na Figura 3.3, encontram-se representadas graficamente às curvas de secagem em estufa de circulação forçada de ar do resíduo casca da jaca para as temperaturas em estudo, ajustadas para a equação de Page. Observa-se que as curvas geradas a partir desse modelo matemático aproximam-se bem dos pontos experimentais, verificados, portanto, a partir dos coeficientes de determinação (R^2).

Figura 3.3. Cinética de secagem do resíduo casca de jaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) em diferentes temperaturas de secagem com ajuste pelo método de Page.



Na Tabela 3.3, estão os valores dos parâmetros dos modelos de Newton, Page, Henderson e Pabis, Dois Termos e Aproximação da Difusão, ajustados às curvas de secagem do resíduo eixo central, nas diferentes temperaturas avaliadas, os R^2 e DQM.

Tabela 3.3. Parâmetros de ajuste dos modelos das curvas de cinética de secagem do eixo da jaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam.), para as diferentes temperaturas.

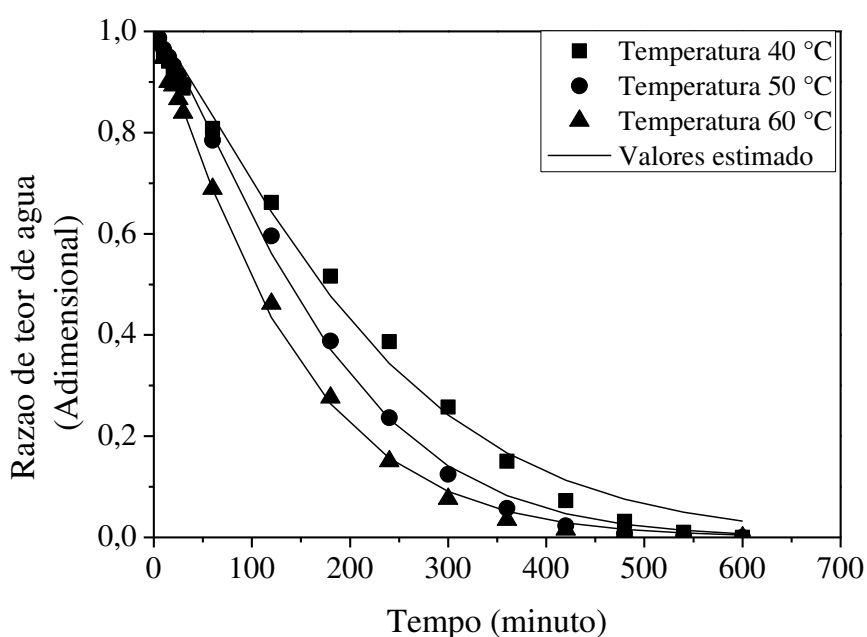
| Modelos | T (°C) | Parâmetros | | | | | R ² | DQM |
|------------------------|-----------|------------|----------|---------|----------------|--------|----------------|---------|
| | | a | k | b | k ₁ | n | | |
| Newton | 40 | - | 0,007138 | - | - | - | 99,556 | 0,0271 |
| | 50 | - | 0,004531 | - | - | - | 98,334 | 0,0498 |
| | 60 | - | 0,005674 | - | - | - | 98,537 | 0,04987 |
| Page | 40 | - | 0,000987 | - | - | 1,2747 | 99,350 | 0,03110 |
| | 50 | - | 0,000969 | - | - | 1,3354 | 99,834 | 0,0169 |
| | 60 | - | 0,003309 | - | - | 1,1549 | 99,904 | 0,01258 |
| Henderson e Pabis | 40 | 1,0263 | 0,007427 | - | - | - | 99,671 | 0,02334 |
| | 50 | 1,02298 | 0,004664 | - | - | - | 98,456 | 0,04792 |
| | 60 | 1,04666 | 0,006029 | - | - | - | 98,937 | 0,04249 |
| Dois Termos | 40 | 0,5132 | 0,00743 | 0,5132 | 0,00743 | - | 99,671 | 0,02334 |
| | 50 | 0,5235 | 0,004663 | 0,4994 | 0,004663 | - | 98,456 | 0,04792 |
| | 60 | 0,5622 | 0,006029 | 0,48448 | 0,006029 | - | 98,934 | 0,04249 |
| Aproximação da Difusão | 40 | -107,35 | 0,011766 | 0,99476 | - | - | 99,935 | 0,01039 |
| | 50 | -119,75 | 0,008098 | 0,99413 | - | - | 99,398 | 0,02993 |
| | 60 | -162,08 | 0,010779 | 0,995 | - | - | 99,815 | 0,01773 |

Verifica-se, na Tabela 3.3, que todos os ajustes apresentaram R² superior a 99,0 %, e DQM inferiores a 0,0311 podendo-se utilizar todos os modelos matemáticos testados na predição das curvas de secagem. O modelo que melhor se ajustou foi o de Page, com os maiores R² e menores DQM em todas as temperaturas. Resultados semelhantes foram encontrados por Perez et al. (2013), que investigaram o efeito da solução binária e da ternária na taxa da secagem por convecção e avaliaram a adequação dos modelos matemáticos na descrição das curvas da secagem do cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*), observaram que o modelo de Page se ajustou bem aos dados experimentais de secagem para os tratamentos estudados apresentando R² superior a 99 % e erros percentuais médios inferiores a 8,5 %, podendo ser usados na predição da cinética de secagem da polpa de cupuaçu.

Na Figura 3.4 se apresentam as cinéticas de secagem do resíduo eixo central, nas temperaturas 40, 50 e 60 °C. Observa-se influência da temperatura com redução gradativa nos tempos de secagem sob o efeito da utilização de temperaturas mais elevadas. As curvas de secagem estão representadas pelo modelo de Page, que resultou nos melhores ajustes. Menezes

et al. (2013), realizando a análise da cinética e o ajuste de modelos matemáticos aos dados de secagem do bagaço do maracujá amarelo (*Passiflora edulis*), nas temperaturas de 35, 45, 55 e 65 °C e três velocidades do ar de 0,8, 1,0 e 1,3 m.s⁻¹, concluíram que a equação de Page, foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais de secagem, com base nos maiores valores de R² e Teste F e no menor valor da raiz do erro médio.

Figura 3.4. Cinética de secagem do resíduo eixo central da jaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) em diferentes temperaturas de secagem com ajuste pelo método de Page.



Na Tabela 3.4 são apresentados os valores dos parâmetros dos modelos de Newton, Page, Henderson e Pabis, Dois Termos e Aproximação da Difusão, ajustados aos dados de secagem do resíduo pívide da jaca, nas diferentes temperaturas avaliadas, os R² e os DQM.

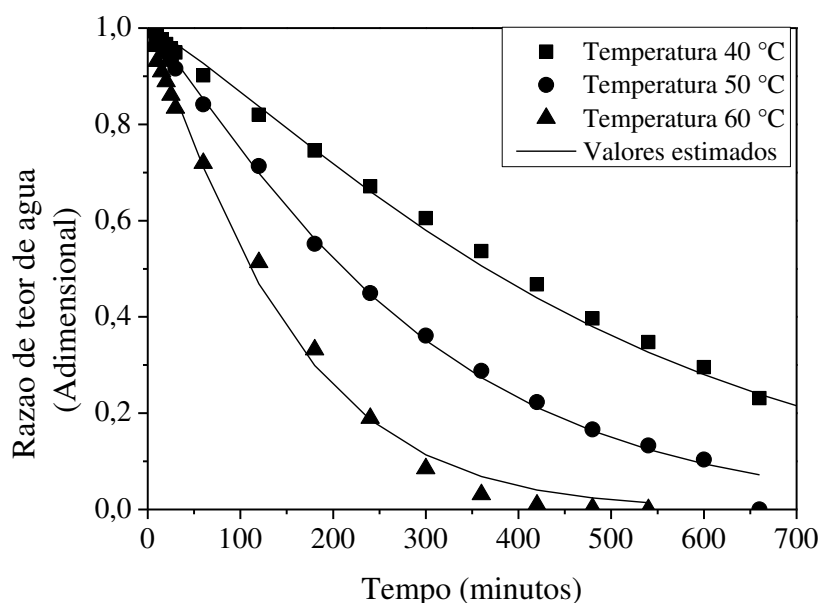
Tabela 3.4. Parâmetros de ajuste dos modelos das curvas de cinética de secagem do pívide da jaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam.), para as diferentes temperaturas.

| Modelos | T (°C) | Parâmetros | | | | | R ² | DQM |
|------------------------|-----------|------------|----------|----------|----------------|--------|----------------|----------|
| | | a | k | b | k ₁ | n | | |
| Newton | 40 | - | 0,002013 | - | - | - | 96,867 | 0,056 |
| | 50 | - | 0,006615 | - | - | - | 99,237 | 0,034 |
| | 60 | - | 0,003491 | - | - | - | 99,258 | 0,031 |
| Page | 40 | - | 0,000508 | - | - | 1,223 | 98,199 | 0,0424 |
| | 50 | - | 0,001334 | - | - | 1,1685 | 99,714 | 0,0192 |
| | 60 | - | 0,003049 | - | - | 1,152 | 99,602 | 0,025 |
| Henderson e Pabis | 40 | 1,02161 | 0,002073 | - | - | - | 97,040 | 0,0543 |
| | 50 | 1,015 | 0,006758 | - | - | - | 99,280 | 0,0336 |
| | 60 | 1,023 | 0,00359 | - | - | - | 99,398 | 0,0279 |
| Dois Termos | 40 | 0,5134 | 0,002097 | 0,5134 | 0,00209 | - | 97,029 | 0,0544 |
| | 50 | 0,5057 | 0,006758 | 0,5090 | 0,006758 | - | 99,280 | 0,0336 |
| | 60 | 0,5090 | 0,003535 | 0,5090 | 0,003536 | - | 99,387 | 0,0281 |
| Aproximação da Difusão | 40 | -13,907 | 0,003992 | 0,9489 | - | - | 98,370 | 0,04032 |
| | 50 | -82,767 | 0,010743 | 0,993350 | - | - | 99,687 | 0,02215 |
| | 60 | -3,2865 | 0,006288 | 0,856845 | - | - | 99,737 | 0,018436 |

Observa-se que todos os modelos podem ser utilizados para representar o processo de secagem do resíduo pívide, em função de terem apresentado R² de 98,199 % e DQM inferiores a 0,424. Silva et al. (2015b) observaram, estudando a secagem em camada fina da polpa de achachairu (*Garcinia* sp) nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C em estufa com circulação forçada de ar, os dados obtidos aos modelos matemáticos de Dois Termos, Henderson e Pabis, Lewis, Logarítmico, Page, Peleg e Wang e Sing aos dados experimentais, que o de Page apresentou os maiores valores para R² acima de 99,88 %.

Na Figura 3 se apresentam as cinéticas de secagem do resíduo pívide nas diferentes temperaturas avaliadas com ajuste pelo modelo de Page, que foi o que apresentou os melhores ajustes aos dados experimentais.

Figura 3.5. Cinética de secagem do resíduo pívide da jaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) em diferentes temperaturas de secagem com ajuste pelo método de Page.



3.5.1.1 Obtenção do Produto Farináceo por Secagem Convectiva

Para obtenção da farinha dos resíduos de jaca, a temperatura mais indicada para o processo de secagem foi a de menor taxa de secagem, de 60 °C. Com isso, observa-se a correlação entre a temperatura e a velocidade de secagem, pois as maiores velocidades de remoção de água foram apresentadas nas amostras desidratadas para temperaturas maiores, fato normalmente observado em outros produtos agrícolas (COSTA et al., 2011; SANTOS et al., 2013). Segundo Silva et al. (2016b), a secagem em estufa à temperatura constante de 60 °C foi eficiente no processo de secagem realizado em folhas de *Plectranthus barbatus* Andr. (Lamiaceae). Resultados semelhantes foram observados por Silva et al. (2016a) que determinaram a temperatura de 60 °C para a obtenção da farinha de maxixe (*Cucumis anguria* L.) por secagem em estufa de circulação de ar forçado.

O tempo de secagem também foi determinado de acordo com a cinética de secagem e sendo para a casca, o eixo e o pívide 7, 10 e 11 h, respectivamente. Com esse tempo de secagem foi observado uma significativa redução no teor de água (TA), acompanhado de ótima aparência do produto. Também se verificou que nenhuma amostra foi queimada nem apresentou escurecimento no produto durante o tempo de secagem. As amostras finais de casca, eixo e pívide apresentaram TA médio de 6,37, 5,81 e 11,60 %, respectivamente. A

Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), através da portaria 354/1996, estabelece que o TA das farinhas não deva ultrapassar 15 %. Dessa forma, a secagem dos resíduos de jaca produziu farinhas com TA dentro dos padrões estabelecidos.

3.5.2 Mapeamento Térmico do Forno de Micro-Ondas (FMO)

3.5.2.1 Mapeamento por Meio da Secagem de Solução Aquosa de CoCl_2

Os resultados obtidos no mapeamento por meio da secagem da solução aquosa de CoCl_2 podem ser observados na Figura 3.6 (A, B e C). O CoCl_2 quando hidratado possui coloração rosa (Figura 3.6A) e quando desidratado torna-se azul. Essa propriedade dos sais de Co(II) é bem conhecida e justifica a escolha desse cátion para o experimento proposto.

A variação de coloração possibilita um rápido mapeamento qualitativo do processo de secagem assistido por radiação micro-ondas (MO) e inferir a distribuição de radiação MO na cavidade. Os pontos nos quais a incidência de radiação foi maior pode-se observar uma coloração azul mais intensa. Diferenças não foram observadas quando o experimento foi realizado com o prato girando (Figura 3.6B) e com o prato fixo (Figura 3.6C).

Figura 3.6. Mapeamento por secagem da solução aquosa de CoCl_2 : antes da irradiação das micro-ondas(A); após irradiação com prato giratório(B) e após irradiação com prato fixo(C).



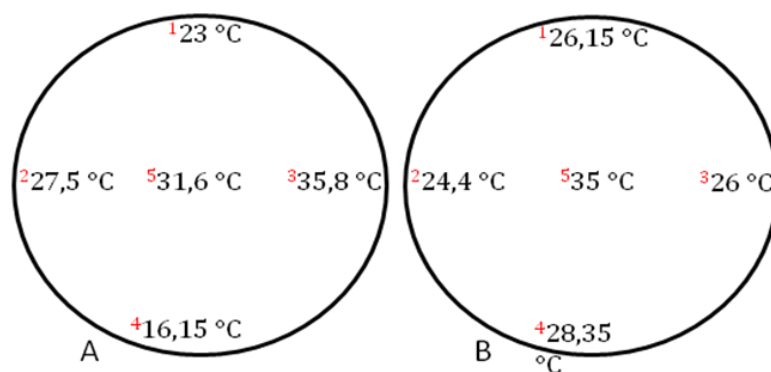
Fonte: Dados da Pesquisa.

No mapeamento utilizando a solução aquosa de CoCl_2 , toda a superfície sobre o prato giratório foi avaliada, no entanto não existia dentro do FMO nenhum material que pudesse interferir a propagação das MO. De acordo com esse procedimento, a incidência de MO é maior na região central da cavidade.

3.5.2.2 Mapeamento Através da Verificação da Temperatura da Água

Os resultados obtidos no mapeamento térmico por meio da variação da temperatura da água, com aquecimento simultâneo dos cinco béqueres, com prato fixo e com prato girando, estão apresentados na Figura 3.7 (A e B, respectivamente).

Figura 3.7. Mapeamento térmico por meio da variação de temperatura da água, aquecimento simultâneo dos béqueres. A) com prato fixo. B) com prato giratório.

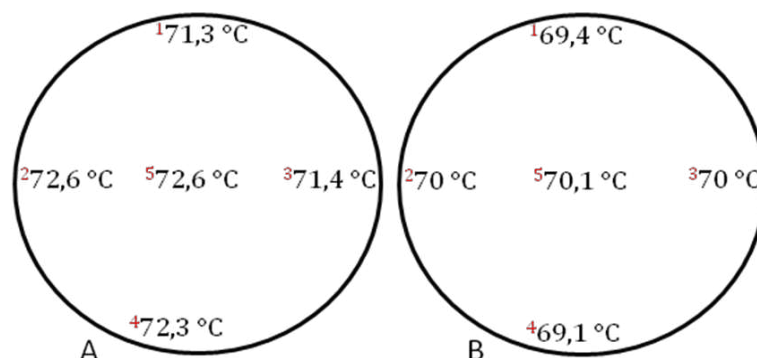


Fonte: Dados da Pesquisa

Pode-se observar que após aquecimento simultâneo dos béqueres com prato fixo, a posição central (5) e lateral direita (3) apresentaram maior variação da temperatura da água (Figura 3.7A). Quando se observou a variação de temperatura, após o aquecimento em prato giratório, a posição central (5), e inferior (4) apresentou os maiores valores (Figura 3.7B). Os resultados indicam que o ponto de máxima incidência de radiação no FMO é a central. Isso pode ser devido às reflexões das MO, que podem ocorrer nas paredes do forno. Rosini; Nascentes e Nóbrega (2004) trabalhando com experimentos didáticos envolvendo radiação MO também verificaram que o ponto de maior incidência das MO foi o central, corroborando com o mapeamento por secagem de solução de CoCl_2 .

Na Figura 3.8 estão representados os resultados obtidos no mapeamento térmico por meio da variação da temperatura da água, com aquecimento individual dos cinco béqueres, com prato fixo (Figura 3.8A) e com prato girando (Figura 3.8B).

Figura 3.8. Mapeamento térmico por meio da variação de temperatura da água, aquecimento individual dos béqueres. A) com prato fixo. B) prato giratório.



Fonte: Dados da Pesquisa

Este tipo de mapeamento apresentou o mesmo comportamento observado para o mapeamento com aquecimento simultâneo dos béqueres, a variação de temperatura foi maior na posição 5 (central), indicando ser este ponto o de máxima incidência de radiação MO. Também se observou que a temperatura média entre os cinco pontos com o prato fixo foi um pouco maior que a média verificada para os cinco pontos quando aquecidos com prato girando e, que a variação de temperatura com prato fixo e girando foi menor que 1 °C, sendo a temperatura média de $72,04 \pm 0,64$ °C para o prato fixo e $69,82 \pm 0,30$ °C para prato girando.

Também foi verificado que quando os béqueres foram irradiados simultaneamente, houve uma menor variação de temperatura em todos os pontos, pois ocorreu uma distribuição da energia irradiada entre os béqueres, no entanto o ponto de maior incidência foi o mesmo. Rosini; Nascentes e Nóbrega (2004) obtiveram resultado semelhante quando mapearam a cavidade do FMO por meio da variação da temperatura da água, com aquecimento simultâneo e individual dos béqueres.

3.5.3 Calibração da Potência Real de Trabalho do FMO

Durante a calibração do FMO é necessário que a quantidade de água a ser aquecida seja suficiente para que praticamente toda a radiação de MO gerada no interior da cavidade seja absorvida. Dessa forma, nestes experimentos foram utilizados 1 Kg de água.

Os resultados obtidos da variação de temperatura em relação à potência utilizada no aquecimento da água e da potência real calculada segundo a equação (8) estão apresentados na Tabela 3.5.

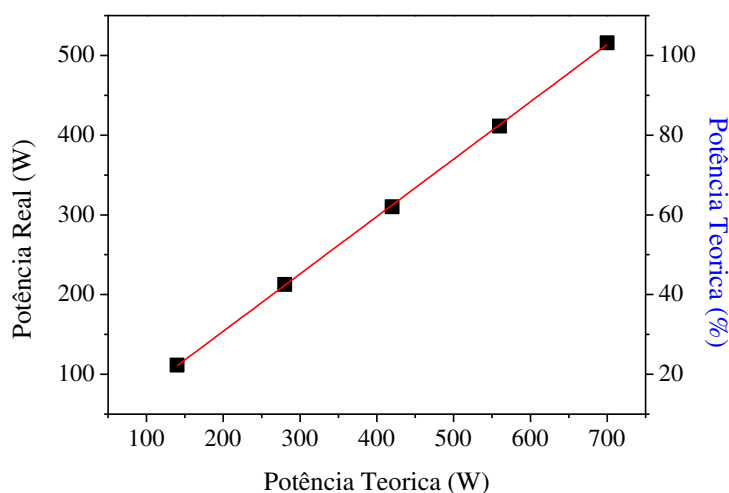
Tabela 3.5. Valores da potência teórica e potência real de trabalho do FMO.

| Potência _{teórica} (%) | Potência _{teórica} (W) | $\Delta T_{\text{média}}$ (°C) | Potência _{real} (W) |
|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| 100 | 700 | 14,8 | 515,9 |
| 80 | 560 | 11,8 | 411,3 |
| 60 | 420 | 8,9 | 310,2 |
| 40 | 280 | 6,1 | 212,6 |
| 20 | 140 | 3,2 | 111,5 |

Observou-se que a potência real calculada para o forno é crescente em função do aumento da temperatura, mas não corresponde ao valor relatado pelo fabricante no manual do aparelho. Souza et al. (2005) e Barboza et al. (2001) em diferentes estudos de calibração de FMO também mostraram resultados semelhantes.

Com os dados da potência teórica (W e %) e da potência real de trabalho (W) construiu-se a curva de calibração do FMO utilizado neste estudo (Figura 3.9). Com um R^2 de 0,99 é possível utilizar com confiabilidade o modelo linear proposto para prevê outras potências reais não calculadas, sendo: $P_{\text{Real}} = 0,72P_{\text{teórica}} + 10,05$.

Figura 3.9. Curva de calibração da potência do FMO.



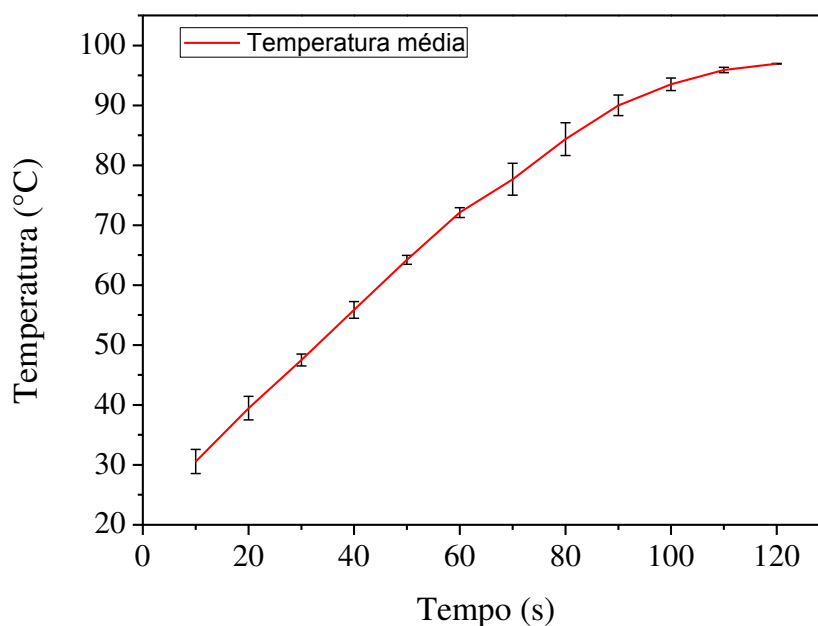
3.5.4 Verificação da Reprodutibilidade dos Resultados Obtidos Utilizando o FMO

Os resultados das temperaturas medidas, em cada intervalo de tempo, nos três experimentos, com seus respectivos desvios padrão, estão apresentados na Tabela 3.6. E a curva de aquecimento média da água, com os desvios padrão versus tempo de aquecimento, está representada graficamente na Figura 3.10.

Tabela 3.6. Valores de temperatura obtidos no teste de reprodutibilidade.

| Tempo (s) | Temperatura ₁ | Temperatura ₂ | Temperatura ₃ | Desvio Padrão |
|--------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------|
| | °C | | | |
| 10 | 32,5 | 30,7 | 28,5 | ± 2,00 |
| 20 | 40,8 | 40,4 | 37,2 | ± 1,97 |
| 30 | 48,5 | 47,5 | 46,5 | ± 1,00 |
| 40 | 57,2 | 56,0 | 54,4 | ± 1,40 |
| 50 | 65,1 | 63,8 | 63,8 | ± 0,75 |
| 60 | 73,0 | 71,4 | 71,9 | ± 0,82 |
| 70 | 80,2 | 74,9 | 77,9 | ± 2,66 |
| 80 | 86,8 | 81,4 | 84,9 | ± 2,74 |
| 90 | 91,8 | 88,4 | 89,8 | ± 1,71 |
| 100 | 94,3 | 92,3 | 93,9 | ± 1,06 |
| 110 | 96,4 | 95,7 | 95,6 | ± 0,43 |
| 120 | 97,0 | 96,9 | 97,0 | ± 0,06 |

Observa-se que os desvios apresentados nas três medições são pequenos (Figura 3.10), indicando que o forno reproduz bem a taxa de aquecimento. Os resultados de Barboza et al. (2001) corroboram com os resultados encontrados, no entanto, ressaltam que o interrompimento do fornecimento de MO, em intervalos de 10 s não permite uma boa correlação entre a programação da potência e o aquecimento alcançado.

Figura 3.10. Representação gráfica da curva de aquecimento média da água no FMO.

3.5.5 Cinética de Secagem em FMO

Os parâmetros de secagem para os modelos ajustados a cinética de secagem da casca de jaca obtida com aplicação de micro-ondas (MO) encontram-se na Tabela 3.7, com os respectivos valores de coeficientes de determinação (R^2) e do desvio quadrático médio (DQM).

Tabela 3.7. Valores dos parâmetros da secagem da casca de jaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) em FMO.

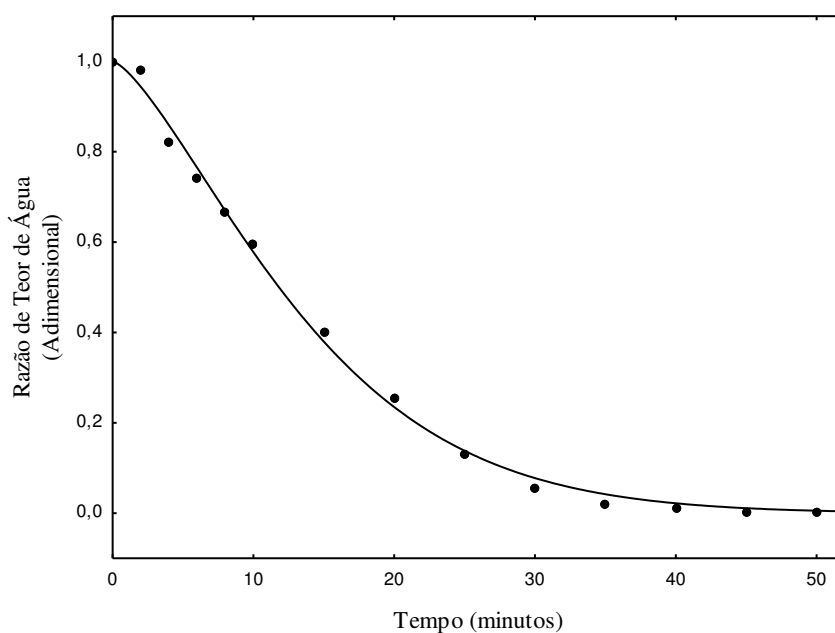
| Modelos | Parâmetros | | | | | R^2 | DQM |
|------------------------|------------|----------|----------|----------|---------|--------|---------|
| | a | k | b | k_1 | n | | |
| Newton | - | 0,065154 | - | - | - | 97,153 | 0,06253 |
| Page | - | 0,021784 | - | - | 1,40104 | 99,699 | 0,02032 |
| Henderson e Pabis | 1,092688 | 0,072076 | - | - | - | 98,169 | 0,05014 |
| Dois Termos | 0,546354 | 0,072079 | 0,546354 | 0,072080 | - | 98,169 | 0,05014 |
| Aproximação da Difusão | -173,815 | 0,132293 | 0,995050 | - | - | 99,615 | 0,02299 |

Com os resultados da Tabela 3.7, verifica-se que os modelos analisados apresentaram ajustes com elevados R^2 e baixos DQM, onde todos os modelos matemáticos avaliados apresentaram ajuste adequado para descrever o processo de secagem casca de jaca em FMO.

Dentre os modelos que apresentaram melhor ajuste aos dados experimentais, o modelo de Page foi selecionado por se ajustar adequadamente aos dados de secagem de casca em FMO, pois apresentou maior valor de R^2 (99,699 %), e menor valor de DQM de 0,02032, indicando, uma representação satisfatória do processo de secagem.

A Figura 3.11 apresenta o ajuste dos dados da curva de secagem da casca de jaca ao modelo de Page para a secagem em FMO, experimental e estimada, a potência de 50 %.

Figura 3.11. Ajuste do modelo de Page para as amostras de casca de jaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) durante a secagem com potência de 50 % do FMO.



Analisando a curva de razão de teor de água, demonstrada na Figura 3.11, verificou-se, pela correspondência entre os valores experimentais e estimados, ajuste satisfatório do modelo para a descrição da secagem da casca de jaca em estudo.

3.5.6 Obtenção da Farinha A Partir da Secagem da Casca de Jaca em FMO

Com base nos resultados dos testes preliminares, foi estabelecido uma rampa de aquecimento determinada por 5 ciclos de 10 min, na potência de 50 % e massa inicial de

amostra de 150 g. Após esse tempo, ainda conseguiu-se redução no teor de água (TA), no entanto este fato foi acompanhado do escurecimento no produto.

Com relação à potência utilizada do FMO, 50 % correspondeu a uma potência real de trabalho de 262,5 W. Esta potência adotada no processo de secagem refere-se à maior potência possível, pois houve redução satisfatória do TA favorecendo a manutenção das propriedades e a boa qualidade do produto. Também se optou pela utilização de uma única potência de trabalho uma vez que se pretende tornar este processo de fácil reprodução, de forma que possa ser realizado em qualquer aparelho de MO, com ajuste da potência quantitativo ou qualitativo.

A farinha de casca de jaca obtida por secagem em FMO foi exposta em placas de Petri conforme Figura 3.8. Observa-se que o produto final, ou seja, a farinha preservou bem as características relacionadas à coloração da amostra *in natura*, apresentando pequena diferença em virtude do processo de secagem.

Figura 3.12. Resíduo casca *in natura* (A). Farinha de casca obtida por MO.



Fonte: Dados da pesquisa.

O uso do FMO proporciona algumas vantagens, entre elas a redução no consumo de energia e a significativa redução no tempo de secagem que passou de 7 h em estufa de secagem a 60 °C para 50 min em FMO quando secados resíduo de casca, resultados semelhantes foram verificados por Ishimoto et al. (2007).

Segundo Souza (2015), a obtenção da farinha da casca de maracujá (*P. edulis*) em FMO mostrou-se um método rápido, seguro, preciso, acessível e barato, o que tem grande importância nos processos de comercialização, armazenamento e processamento. A radiação das MO praticamente não é afetada pelas condições ambientais, portanto, pó e vapor d'água não afetam as leituras, além de representar economia de tempo, energia e dinheiro, quando se compara com métodos usuais.

3.6 CONCLUSÕES

Houve influência da temperatura sobre as curvas de secagem dos resíduos de casca, eixo e pívide. Com o aumento da temperatura do ar de secagem ocorreu uma maior taxa de remoção de água nos resíduos. O modelo de Page foi o mais indicado para representar o fenômeno de secagem dos resíduos de jaca em secagem convectiva nas temperaturas estudadas.

A obtenção do produto farináceo por secagem convectiva a 60 °C manteve as características relacionadas à coloração da amostra *in natura* e apresentou TA final de 6,37 %.

Ambos os procedimentos utilizados para o mapeamento térmico do FMO apresentaram a região central da cavidade como a de maior incidência das micro-ondas.

A potência real de trabalho do FMO foi inferior ao valor relatado no manual pelo fabricante do aparelho. E o FMO utilizado neste estudo reproduz bem a taxa de aquecimento.

A rampa de aquecimento utilizada para o processo de secagem e obtenção da farinha da casca de jaca, foi constituída de 5 ciclos de 10 min, com potência do FMO de 50 %.

O modelo de Page foi o mais indicado para representar o fenômeno de secagem do resíduo casca de jaca em secagem com aplicação de micro-ondas.

O produto final obtido por secagem em FMO preservou bem as características relacionadas à coloração da amostra *in natura* e apresentou TA final de 6,09 %.

REFERÊNCIAS

- ALEXANDRE, H. V.; GOMES, J. P.; NETO, A. L. B.; SILVA, F. L. H.; ALMEIDA, F. D. A. C. Cinética de secagem de abacaxi cv pérola em fatias. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 11, n. 2, p. 123-128, 2009.
- ALEXANDRE, H. V.; SILVA, F. L. H.; GOMES, J. P.; SILVA, O. S.; CARVALHO, J. P.; LIMA, E. E. Cinética de secagem do resíduo de abacaxi enriquecido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 6, p. 640–646, 2013.
- ANDRADE, S. A. C.; METRI, J. C.; BARROS NETO, B. D.; GUERRA, N. B. Desidratação osmótica do jenipapo (*Genipa americana* L.). **Ciências e Tecnologia de Alimentos**, v. 23, n. 2, p. 276-281, 2003.
- ANDREOLA, K. **Secagem de cenoura (*Daucus carota* L.) Assistida por micro-ondas**. Dissertação (mestrado), 165 p. UNICAMP, Faculdade de Engenharia química. Campinas-SP, 2013.
- BALIGA, M. S.; SHIVASHANKARA, A. R.; HANIADKA, R.; SOUZA, J.; BHATET, H. P. Phytochemistry, nutritional and pharmacological properties of *Artocarpus heterophyllus* Lam (jackfruit): A review. **Food Research International**, v. 44, n. 7, p. 1800- 1811, 2011.
- BARBOZA, A. C. R. N.; CRUZ, C. V. M. S.; GRAZIANI, M. B.; LORENZETTI, M. C.; SABADINI, E. Aquecimento em forno de microondas/desenvolvimento de alguns conceitos fundamentais. **Química Nova**, v. 24, n. 6, p. 901-904, 2001.
- BRASIL, Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). **Portaria nº 354, de 18 de julho de 1996**. Disponível em: http://www.anvisa.gov.br/anvisalegis/portarias/354_96.htm Acesso em: 30/04/2016
- BROOKER, D. B.; BAKER-ARKEMA, F. W.; HALL, C. W. **Drying and storage of grains and oilseeds**. New York: AVI Book, 450 p., 1992.
- CELESTINO, S. M. C. **Princípios de secagem de alimentos**. 51 p. (Documentos/Embrapa Cerrados). Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2010.
- CORRÊA, P. C.; RESENDE, O.; MARTINAZZO, A. P.; GONELI, A. L.; BOTELHO, F. M. 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.
- CORRÊA, P. C.; OLIVEIRA, G. H. H.; BOTELHO, F. M.; GONELI, A. L. D.; CARVALHO, F. M. 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.
- COSTA, L. M.; RESENDE, O.; SOUSA, K. A.; GONÇALVES, D. N. Coeficiente de difusão efetivo e modelagem matemática da secagem de sementes de crambe. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n.10, p. 1089-1097, 2011.

- DAL'TOÉ, A. T. O.; FIORESE, M. L. Estudo da secagem da casca de soja para utilização com fins alimentícios. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 14, n. 4, p. 363-372, 2012.
- DÓREA, J. R. R.; PEREIRA, L. G. R.; FERREIRA, A. L.; SILVA, T. C.; AZEVÊDO, J. A. G.; GOUVÊA, V. N.; FRANCO, A. L. C. Composição bromatológica e dinâmica de fermentação da silagem de jaca. **Seminário: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 4, p. 1967-1976, 2013.
- FARIAS, E. S.; GOUVEIA, J. P. G.; ALMEIDA, F. A. C.; BRUNO, L. A.; NASCIMENTO, J. Secagem de cajá em um secador de leito fixo. In: Congresso brasileiro de fruticultura, **Anais... SBF**, Belém-PA, 2002.
- FEMENIA, A.; SASTRE-SERRANO, G.; SIMAL, S.; GARAU, M. C.; EIM, V. S.; ROSSELLÓ, C. Effects of air-drying temperature on the cell walls of kiwifruit processed at different stages of ripening. **Food Science and Technology**, v. 42, n. 1, p. 106-112, 2009.
- FONSECA, V. J. A. **Caracterização, seleção e propagação vegetativa de genótipos de jaqueira**. Tese, 109 p. Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, UFRB, Cruz das Almas, BA, 2010.
- FORTES, M.; OKOS, M. R. **Drying theories; their bases and limitations as applied to foods and grains**. In: MUJUNDAR, A. S. (ed.). *Advances in drying*. New York: Science Press, p.153-162, 1980.
- GERMANO, L. M. L. P. **Métodos alternativos de secagem de banana verde**. Monografia, 44 p. (Engenharia Química), UFRN, Natal-RN, 2016.
- GONELI, A. L. D.; CORRÊA, P. C.; AFONSO JÚNIOR, P. C.; OLIVEIRA, G. H. H. Cinética de secagem dos grãos de café descascados em camada delgada. **Revista Brasileira de Armazenamento**, v. 11, p. 64-73, 2009.
- GOUVEIA, J. P. G.; ALMEIDA, F. A. C.; FARIAS, E. S.; SILVA, M. M.; CHAVES, M. C. V.; REIS, L. S. Determinação das curvas de secagem em frutos de cajá. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. Especial, n.1, p.65-68, 2003.
- GUINÉ, R. P. F.; PINHO, S.; BARROCA, M. J. Study of the convective drying of pumpkin (*Cucurbita maxima*). **Food and Bioproducts Processing**, v. 89, p. 422-428, 2011.
- HENDERSON, S. M.; PABIS, S. Grain drying theory I: temperature effect on drying coefficient. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 6, n. 3, p.169-174, 1961.
- HENDERSON, S. M. Progress in developing the thin layer drying equation. **Transactions of the ASAE**, v. 17, n. 6, p. 1167-1168, 1974.
- HORSTEN, D. V.; HARTNING, T.; VON HORTEN, D. Processing of medicinal plants using microwaves. **Land technik**, v. 54, n. 4, p. 206-207, 1999.
- INCROPERA, F. P.; DEWITT, D. P. **Fundamentos de transferência de calor e de massa**. Editora Guanabara Koogan, 380 p., Rio de Janeiro-RJ, 1992.

ISHIMOTO F. Y.; HARADA A. I.; BRANCO I. G.; CONCEIÇÃO W. A. S.; COUTINHO M. R. **Aproveitamento alternativo da casca do maracujá amarelo** (*Passiflora edulis* F. var. *flavicarpa* Deg.) **para produção de biscoitos**. *Revista Ciências Exatas e Naturais*, v. 9, n. 2, p. 279-292, 2007.

JAGTAP, U. B.; BAPAT, V. A. *Artocarpus*: A review of its traditional uses, phytochemistry and pharmacology. *Journal of Ethnopharmacology*, v. 129, n. 2, p. 142–166, 2010.

LEITE, D. D. F.; PEREIRA, E. M.; ALBUQUERQUE, A. P.; MENDES, F. A.; ALEXANDRE, H. V. Avaliação da cinética de secagem da carambola em secador convectivo. *Revista Verde*, v. 11, n. 2, p. 01-04, 2016.

MADAMBA, P. S. Thin layer drying models for osmotically pré-dried young coconut. *Drying technology*, v. 21, n. 9, p. 1759-1780, 2003.

MADUREIRA, I. A.; MELO, R.; SILVA FILHO, A. J. Q. Cinética de secagem da polpa do figo-da-Índia. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, v. 13, n. Especial, p. 345-354, 2011.

MAHAYOTHEE, B.; UDOMKUN, P.; NAGLE, M.; HAEWSUNGCHAROEN, M.; JANJAI, S.; MUELLER, J. Effects of pretreatments on colour alterations of litchi during drying and storage. *European Food Research and Technology*, v. 229, n. 2, p. 329-337, 2009.

MARTINAZZO, A. P.; CORRÊA, P. C.; RESENDE, O.; MELO, E. D. C. 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.

MATA, A. L. M. L.; COSTA, S. E. D.; CAPISTRANO, D. P.; MORAES FILHO, F. C. **Cinética da secagem do feijão verde** (*Vigna unguiculata* L. Walp) **em micro-ondas com e sem pré-tratamento osmótico**. XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química, v.1, n. 2, 2015.

MELO, E. C.; RADÜNZ, L. L.; MELO, R. A. Influência do processo de secagem na qualidade de plantas medicinais-Revisão. *Engenharia na Agricultura*, v. 12, n. 4, p. 307-315, 2004.

MENEZES, M. L.; STRÖHER, A. P.; PEREIRA, N. C.; BARROS, S. T. V. Análise da cinética e ajustes de modelos matemáticos aos dados de secagem do bagaço do maracujá-amarelo. *Engevista*, v. 15, n. 2, p. 176-186, 2013.

PAGE, G. E. **Factors influencing the maximum rates of air drying shelled corn in thin layer**. Thesis (Master of Science) - Purdue University, 1949.

PANCHARIYA, P. C.; POPOVIC, D.; SHARMA, A. L. Thin-layer mode-ling of black tea drying process. *Journal of Food Engineering*, v. 52, n. 4, p. 349-357, 2002.

PEREIRA, N. R. **Estudo da aplicação de micro-ondas na secagem de bananas tratadas osmoticamente**. Tese (Doutorado em Engenharia Alimentos), 188 p. UNICAMP, Campinas-SP, 2007.

PEREZ, L. G.; OLIVEIRA, F. M. N.; ANDRADE, J. S.; MOREIRA, M. Cinética de secagem da polpa cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) pré desidratada por imersão-impregnação. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 44, n. 1, p. 102-106, 2013.

PRETTE, A. P. **Aproveitamento de polpa e resíduos de jaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) através de secagem convectiva**. Tese, 161 p. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, UFCG. Campina Grande, PB, 2012.

RAGHAVAN, G. S. V.; SILVEIRA, A. M. Shrinkage characteristics of strawberries osmotically dehydrated in combination with microwave drying. **Drying Technology**, v. 19, n. 2, p. 405-414, 2001.

RAMASWAMY, H.; MARCOTTE, M. **Food processing: principles and applications**. New York: CRC Press, 420 p., 2006.

RIBEIRO, M. C. B. **Qualidade de tomates orgânicos e convencionais amadurecidos na planta e após a colheita**. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos), 185 p. UFLA, Lavras-MG, 2012.

ROSINI, F.; NASCENTES, C. C.; NÓBREGA, J. A. Experimentos didáticos envolvendo radiação micro-ondas. **Química Nova**, v. 27, n. 6, p.1012-1015, 2004.

SANTOS, D. D. C.; QUEIROZ, A. J. D. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; OLIVEIRA, E. N. A. 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.

SANTOS, A. E.; MARTINS, G. M. V.; CANUTO, M. F. C. S.; SEGUNDO, J. V.; ALMEIDA, R. D. Modelagem matemática para a descrição da cinética de secagem do fruto da palma (*Opuntia ficus indica*). **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 11, n. 1, p. 01-06, 2016.

SILVA, F.; SOUZA, S. S. **Calibração de forno de microondas - Experimento 1**. In: Workshop sobre Preparo de Amostras - Métodos de Decomposição de Amostras. Anais, São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, São Paulo-SP, 2000.

SILVA, C. V.; BARBOSA, C. P. I.; PAULA, M. L.; COELHO, N. R. A. **Obtenção e caracterização físico-química do pó de tomate**. In: Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimento, Recife. Anais... Recife: SBCTA, 2004.

SILVA, L. R.; ALVES, R. E. Caracterização físico-química de frutos de “mandacaru”. **Revista Acadêmica Ciências Agrárias e Ambientais**, Curitiba, v. 7, n. 2, p. 199- 205, 2009.

SILVA, J. M. **Secagem de pedaços cúbicos de goiaba em Leito de Jorro**. Tese de Doutorado, 110 p., UFCG, Campina Grande-PB, 2010.

SILVA, L. M. M.; SOUSA, F. C.; SOUSA, E. P.; MOREIRA, M. E. R.; MATA, C.; DUARTE, M. E. M. Modelos de predição da cinética de secagem dos grãos de guandu. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 17, n. 4, p. 310-318, 2014.

SILVA, E. S.; OLIVEIRA, J.; MACHADO, A. V.; COSTA, R. O. Secagem de grãos e frutas: revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Agrotecnologia**, v. 5, n. 1, p. 19-23, 2015a.

SILVA, L. M. M.; SOUSA, F. C.; CASTRO, D. S.; GOMES, J. P.; ALMEIDA, F. A. C. Estudo experimental da secagem de polpa de achachairu em camada fina. **Gaia Scientia**, v. 9, n. 1, 2015b.

SILVA, A. P. F.; COSTA, J. D.; DANTAS, D. L.; MATTOS, M. A.; CAMPOS, A. R. N. **Obtenção da farinha de maxixe (*Cucumis anguria* L.) por secagem em forno micro-ondas e estufa**. In: Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Ciências, Campina Grande-PB, 2016a.

SILVA, C. F. G.; MENDES, M. P.; ALMEIDA, V. V.; MICHELS, R. N.; SAKANAKA, L. S.; TONIN, L. T. D. Parâmetros de qualidade físico-químicos e avaliação da atividade antioxidante de folhas de *Plectranthus barbatus* Andr. (Lamiaceae) submetidas a diferentes processos de secagem. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 18, n. 1, p.48-56, 2016b.

SOUSA, M. B.; PEDROZA, J. P.; BELTRÃO, N. E. M.; SEVERINO, L. S. **Cinética de secagem da torta de mamona**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, Energia e ricinoquímica: anais. SEAGRI: Embrapa Algodão, Salvador-BA, 2008.

SOUSA, A. P. M.; MACEDO, A. D. B.; SILVA, A. P. F.; MATTOS, M. A.; PRASAD, S.; SANTANA, R. A. C.; CAMPOS, A. R. N. **Caracterização física e química de jacas comercializadas no município de Lagoa Seca - PB**. III workshop de ciências naturais e biotecnologia. UFCG, Cuité-PB, 2015a.

SOUSA, F. C.; SILVA, L. M. M.; LEMOS, D. M.; MOREIRA, I. S.; LINS, A. D. F.; CASTRO, D. S.; ROCHA, A. P. T. Secagem de resíduos de *Spondias* sp. em camada fina. **Revista Agropecuária Técnica**, v. 36, n. 1, p. 197-202, 2015b.

SOUZA, G. B.; NOGUEIRA, A. R. A.; RASSINI, J. B.; SANTOS, P. M. **Teor de matéria seca em amostras de plantas: determinação com forno de micro-ondas doméstico**. EMBRAPA: Pecuária Sudeste. São Carlos-SP, 2005.

SOUZA, T. S. A.; CHAVES, M. A.; BONOMO, R. C. F.; SOARES, R. D.; PINTO, E. G.; COTA, I. R. Desidratação osmótica de frutículos de jaca (*Artocarpus integrifolia* L.): aplicação de modelos matemáticos. **Acta Scientiarum Technology**, v. 31, n. 2, p. 225-230. Maringá-PR, 2009.

SOUZA, H. P. F. **Elaboração de farinha da casca de maracujá amarelo (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* O. Deg.) em forno de micro-ondas**. Monografia, 51 p. (Licenciatura em Química). UFCG, Cuité-PB, 2015.

STRUMILLO, C.; KUDRA, T. **Drying: principles, applications and design**. New york: Gordon and Breach Science Publishers, 448 p., 1986.

SWAMI, S. B.; THAKOR, N. J.; HALDANKAR, P. M.; KALSE, S. B. Jackfruit and its many functional components as related to human health: A review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 11, n. 6, p. 565-576, 2012.

TOGRUL, I. T.; PCHLIVAN, D. Mathematical modelling of solar drying of apricots in thin layers. **Journal of Food Engineering**, v. 40, n. 3, p. 219–226, 2002.

UNDERSANDER, D.; MERTENS, D. R.; THIEX, N. **Forage analyses procedures**. Omaha: National Forage Testing Association, p. 53, 1993.

VIEIRA, M. G. A. **Análise da secagem de polpa de celulose para a obtenção de papel reciclado tipo cartão**. Tese (Doutorado em Engenharia Química), 232 p., UNICAMP, Campinas, 2006.

VILELA, C. A. A.; ARTUR, P. O. Secagem do açafrão (*Curcuma longa* L.) em diferentes cortes geométricos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, p. 387-394, 2008.

Capítulo 4

CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA DE PRODUTOS FARINÁCEOS
SUBMETIDOS A DIFERENTES PROCESSOS DE SECAGEM

4.1 INTRODUÇÃO

A expansão mundial da população traz como consequência direta à crescente demanda por alimentos, e com isso, aumenta-se a produtividade agrícola e, conseqüentemente, altos índices de desperdício. Estima-se que milhões de toneladas de alimentos por ano têm o lixo como destino final (ARAÚJO et al., 2016). Com isso, ampliam-se a geração de resíduos agroindustriais oriundos do processamento de produtos agrícolas, como as frutas.

Esses resíduos são fontes alternativas de nutrientes, e uma forma de atuação, visando o aproveitamento de resíduos, é buscar alternativas viáveis e econômicas para os resíduos gerados. Sempre que possível, o resíduo final deverá se constituir em matéria-prima para um novo processo, podendo, por meio de tecnologia adequada, ser empregados na alimentação humana e animal (SANTOS, 2011).

A indústria alimentícia vem se utilizando de fontes alternativas vegetais com a finalidade de proporcionar produtos mais saudáveis e economicamente viáveis, incluindo assim, o aproveitamento de partes da planta ou fruto não consumidas, nem pelas agroindústrias nem pela população e, portanto, desperdiçadas (DEL-VECHIO et al., 2005; GIUNTINI; LAJOLO; MENEZES, 2003; AMORIM et al., 2012).

A possibilidade de transformação desses resíduos em produto farináceos para elaboração de novos produtos alimentícios contribui, assim, para a diminuição do impacto gerado ao meio ambiente. Portanto, a produção de farinhas é uma alternativa viável e apresenta uma grande diversidade para a indústria alimentícia, por serem fontes de amido e sais minerais (CARVALHO, 2000; ARAÚJO et al., 2016).

Segundo Araújo et al. (2016), para a elaboração de uma farinha de qualidade, os procedimentos recomendados para o processamento de alimentos necessitam ser rigorosamente monitorados, tais como matéria-prima de qualidade e higienização e o tipo de tecnologia a ser submetida, além de manter as características nutritivas. As farinhas mistas de boa qualidade proteica podem ser adicionadas para fortificar biscoitos, bolos e pães, tornando sua proteína mais balanceada, sem alterar muito sua qualidade tecnológica, reduzindo o custo final da produção (BORGES et al., 2010).

Considerando a importância do desenvolvimento de novos produtos e a procura por fontes nutritivas alternativas com aplicação em alimentos e a pouca utilização dos resíduos do fruto da jaqueira (*Artocarpus heterophyllus* Lam.), torna-se viável a aplicação de tecnologias a fim de desenvolver um produto farináceo visando estabelecer suas potencialidades como

matéria-prima para possível armazenamento da mesma e/ou futura utilização na produção de produtos alimentícios.

4.2 OBJETIVOS

4.2.1 Objetivo Geral

Caracterizar física e quimicamente produtos farináceos obtidos por secagem convectiva e micro-ondas, visando sua possível utilização na elaboração de novos produtos alimentícios.

4.2.2Objetivos Específicos

Caracterizar física e quimicamente as farinhas de resíduos de jaca (casca, eixo e pívide) (*A. heterophyllus* Lam.) obtidas por secagem em estufa a 60°;

Caracterizar física e quimicamente a farinha da casca de jaca obtida por e forno de micro-ondas;

Determinar as isotermas de adsorção das farinhas de casca obtidas por diferentes métodos de secagem e, a partir dos dados experimentais, testar diferentes modelos matemáticos que predizem o comportamento de adsorção de produtos.

4.3. REFERENCIAL TEÓRICO

4.3.1 Aproveitamento de Resíduos Agroindustriais

Os resíduos de frutas e hortaliças são desperdiçados por falta de informação, que acarreta no preconceito e não utilização desses resíduos. Na maioria das vezes, esses resíduos contêm maiores concentrações nutricionais e poderiam ser aproveitados como fontes alternativas com a finalidade de aumentar o teor nutritivo de populações carentes, bem como solucionar deficiências dietéticas do excesso alimentar (PEREIRA et al., 2003). Diversos estudos vêm sendo realizados visando o aproveitamento de resíduos gerados pelas agroindústrias para a produção de alimentos.

Há diversas formas de minimizar a perda de alimentos perecíveis e, uma delas, é através da secagem de alimentos, que consiste no processo de diminuição da atividade de água (a_w), visando preservar e manter a sua qualidade, assim como, aumentar a vida útil do produto (PALACIN et al., 2005; ENGEL et al., 2016).

Dessa maneira, após a aplicação de processos tecnológicos como a secagem ou desidratação e/ou outras tecnologias alternativas como a aplicação de micro-ondas (MO), é viável a obtenção de produto farináceo, sendo uma alternativa para o reaproveitamento do resíduo ou subproduto não utilizáveis, gerando e agregando valor a um novo produto.

A transformação destes resíduos em pós-alimentícios ou farinhas, que além de possuírem diversos componentes, tais como: fibra, vitaminas, minerais, substâncias fenólicas e flavonóides, apresentam efeitos benéficos à saúde, podendo auxiliar na prevenção de diversas doenças crônicas não transmissíveis (BRENNAN, 2006). Além disso, a transformação da fruta (resíduo ou subproduto) em farinha pode ser uma forma de melhor aproveitá-los e garantir uma vida de prateleira ainda maior (OZORES, STORCK; FOGAÇA, 2015).

Para ser considerada farinha, o produto final deve apresentar um teor de água (TA) inferior ao teor de 15 %, segundo a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) (BRASIL, 1996). A produção da farinha deve-se ao processo de trituração ou moagem. De acordo com Araújo Filho et al. (2011), a moagem e a trituração deve ser entendida como duas operações unitárias de redução de tamanho dos alimentos sólidos pela aplicação de forças de impacto, compressão ou abrasão.

Diversos estudos mostram a importância do processamento dos resíduos agroindustriais para a geração de um novo produto visando o reaproveitamento de alimentos, onde se utilizam partes que antes eram desprezadas. Além de minimizar o desperdício, torna o alimento mais acessível à população pelo seu baixo custo.

De acordo com Prette (2012), os produtos alimentícios a base de farinha de jaca apresentam-se com a finalidade de complementar a dieta normal da população, consistindo em fontes alternativas de nutrientes concentrados ou de outras substâncias que tenham um efeito nutricional ou fisiológico, em formulações simples ou combinadas.

Segundo Araújo et al. (2016), a farinha do sabugo de milho é proveniente do reaproveitamento de um resíduo agroindustrial, podendo auxiliar no combate aos elevados índices de desperdício ainda registrados no Brasil. Os autores enfatizam que a farinha elaborada pode ser utilizada como fator enriquecedor em alimentos, pois é rica em fibras.

Ozores, Storck e Fogaça (2015), realizaram um estudo quantitativo composto por quatro tratamentos, nos quais a farinha de trigo foi substituída pela farinha de maracujá (*Passiflora edulis*) (0, 5, 10 e 20 %) na elaboração de bolo. A substituição da farinha de trigo por farinha de maracujá na produção de bolo influenciou o volume específico sem afetar o rendimento, sendo que o bolo com substituição de 10 % o que apresentou maior volume específico.

No estudo de Gomes et al. (2010), foram elaboradas quatro formulações de barra de cereais com diferentes concentrações da farinha de albedo do maracujá. Os resultados comprovaram que a farinha de maracujá tem potencial para ser utilizada como ingrediente na elaboração de barras de cereais por apresentar boa aceitação sensorial, similares às barras industrializadas ofertadas no comércio.

4.3.2 Isotermas de Adsorção de Água

Para a conservação e manutenção da qualidade das farinhas, as isotermas de sorção de teor de água (TA) são ferramentas cruciais no dimensionamento do processo de secagem, bem como na determinação de condições de embalagem e armazenamento (CAMPOS et al., 2009).

A monocamada é determinada por meio das isotermas, podendo indicar o início de diversas reações químicas, acarretando em danificações dos alimentos, além de representar o ponto de maior gasto de energia em um processo de secagem (ASSUNÇÃO; PENA, 2007).

Segundo Campos (2008), a isoterma de sorção é definida como a correlação entre atividade de água (a_w) (ou umidade relativa do ar nas vizinhanças) e o teor de água (TA) do material em equilíbrio, a temperatura constante. Elas são obtidas a partir de dados de adsorção (ganho de TA) e dessorção (perda de TA), respectivamente (FURMANIAK et al., 2007).

A isoterma de adsorção é o processo de equilíbrio que parte de amostras secas e a isoterma de dessorção são obtidas quando há um processo de equilíbrio a partir de amostras úmidas que entram em equilíbrio com o ar úmido das vizinhanças (DAGUENET, 1985).

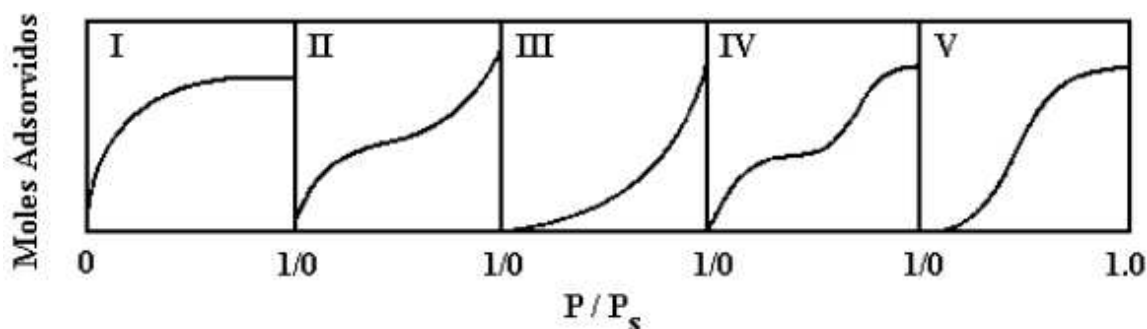
Segundo Assunção e Pena (2007), são através das isotermas de adsorção e dessorção de TA, que se solucionam diversas adversidades quanto ao processamento e estocagem de produtos alimentícios, tais como: a vida de prateleira e as melhores condições de armazenamento e embalagem para o produto. Pode-se ainda prever as características finais de um produto, quando o mesmo é constituído por componentes com diferentes valores de a_w .

A diferença entre dessorção e adsorção é chamada de histerese. Fellows (2006) descreve que a histerese é importante na determinação da proteção necessária contra o ganho de TA. Várias teorias ou hipóteses têm sido propostas para explicar o fenômeno de histerese, baseados principalmente na estrutura porosa ou capilaridade do adsorvente, que é assumido como sendo papel dominante na histerese, que é a diferença no mecanismo entre os processos de enchimento e esvaziamento dos poros ou capilares com o adsorvido (BRAGA, 1991).

A isoterma de equilíbrio refere-se ao TA do alimento e a umidade relativa do ar ambiente em que este se insere, sob determinada condição de temperatura, possibilita a obtenção do TA presente no material. O TA de equilíbrio do alimento em função da umidade relativa do meio proporciona o entendimento para as técnicas de secagem, preservação e armazenamento do material (MARTINS, 2004).

Com o intuito de prever o comportamento das isotermas, diversos autores propuseram modelos de ajuste de isotermas de sorção. Estes modelos são úteis no conhecimento das características dos produtos. Dentre os modelos existentes, destaca-se: modelos cinéticos baseados na teoria da monocamada, a exemplo tem-se o modelo de BET, modelos cinéticos baseados na teoria de multicamadas (modelo de GAB) e modelos empíricos ou semi-empíricos (modelo de Oswin e modelo de Peleg). Brunauer et al. (1940) apresentou uma classificação qualitativa das isotermas de adsorção física, ilustradas na Figura 1.

Figura 4.1. Classificação qualitativa das isotermas de adsorção física, de acordo com Brunauer.



Fonte: SCHWANKE (2003).

Segundo SCHWANKE (2003), as curvas das isotermas comportam-se de maneira característica para cada tipo de isotermas.

A isoterma do tipo I pode ser limitada a poucas camadas moleculares, onde os poros excedem um pouco o diâmetro molecular do adsorvente.

As isotermas dos tipos II e III resultam de adsorventes nos quais há uma extensa variação de tamanhos de poros. Esta variação permite ao adsorvente a capacitação de avançar de forma contínua de uma adsorção monocamada para multicamada, seguida de condensação capilar.

A formação de duas camadas superficiais adsorvidas é caracterizada pela isoterma do tipo IV, onde uma camada é encontrada sobre a superfície plana e a outra nas paredes de um poro cujo diâmetro é muito maior que o diâmetro molecular do sorbato. Caso os efeitos de atração intermolecular sejam grandes, ou seja, as atrações entre as moléculas adsorvidas são mais fortes que as interações sorbato-superfície, uma curva isotérmica do tipo V é observada.

4.3.2.1 Modelos Matemáticos para Ajuste das Isotermas

Vários modelos são sugeridos na literatura para a dependência do TA de equilíbrio e a_w (VAN DEN BERG; BRUIN, 1981). De acordo com Lahsasni et al. (2003) alguns modelos levam em conta o efeito da temperatura, entre eles podemos citar o modelo de GAB. Este modelo foi adotado como equação pela Sociedade Americana de Engenharia Agrícola por descreverem as isotermas de sorção.

A equação de GAB (GUGGENHEIM-ANDERSON-de BOER) de três parâmetros é um reforço das teorias de BET e Langmuir. Este modelo apresenta a vantagem de descrever

com grande precisão as isotermas de adsorção e dessorção, para valores de atividade de água menores que 0,90 (BIZOT et al., 1987). O modelo de GAB é expresso pela Equação (4.1).

$$X_{eq} = \frac{x_m \cdot C \cdot K \cdot a_w}{(1 - K \cdot a_w)(1 - K \cdot a_w + C \cdot K \cdot a_w)} \quad (4.1)$$

Em que:

a_w - atividade de água, decimal;

X_{eq} - conteúdo de umidade de equilíbrio expresso em base seca;

X_m - conteúdo de umidade na monocamada molecular;

C - constante de BET relacionada ao calor de sorção da camada molecular;

K - parâmetro de ajuste.

As constantes C , K e X_m dependem da temperatura e características do produto. O parâmetro K corresponde a um fator de correção das propriedades da monocamada.

O modelo de Oswin baseia-se na expansão matemática para curvas de formato sigmoidal. Apresenta algumas vantagens sobre os modelos cinéticos de BET e GAB: apenas duas constantes de fácil linearização. É um modelo empírico, definido como (CHINNAN; BEAUCHAT, 1985):

$$X_{eq} = a \left(\frac{a_w}{(1 - a_w)} \right)^b \quad (4.2)$$

O modelo de Peleg é um modelo empírico de quatro parâmetros, tende conjugar duas tendências em uma equação (PELEG, 1993):

$$X_{eq} = K_1 a_w^{n_1} + K_2 a_w^{n_2} \quad (4.3)$$

A restrição para esta equação é que $n_1 < 1$ e $n_2 > 1$.

4.4 METODOLOGIA

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Bioquímica e Biotecnologia de Alimentos, Centro de Educação e Saúde (CES) e no Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas (LAPPA), Centro de Tecnologia e Recursos Naturais (CTRN), ambos da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).

4.4.1 Matérias-Primas

As matérias-primas utilizadas foram as farinhas dos resíduos de jaca obtidas por dois métodos de secagem. No método utilizando a estufa de circulação de ar forçada a 60 °C obteve-se farinhas do resíduo casca, eixo e pívide da jaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam.), separadamente. Na secagem empregando o forno de micro-ondas obteve-se a farinha a partir do resíduo casca do fruto.

4.4.2 Caracterizações Físicas e Químicas

As características físicas e químicas, como o teor de água (TA), resíduo mineral fixo (RMF), pH e proteína bruta (PB), foram determinadas conforme descritas nos itens 1.4.2 e 1.4.3 do capítulo 1.

4.4.2.1 Sólidos Solúveis Totais (SST)

Os sólidos solúveis totais (SST) foram determinados através da refratometria na escala °Brix. As leituras do °Brix foram realizadas utilizando o refratômetro de Abbé (PZO WARSZAWA RL1), corrigido para 20 °C.

O aparelho foi calibrado a temperatura ambiente com água deionizada (índice de refração = 1,3330 e 0° Brix a 20 °C) de acordo com as instruções do fabricante. Após a calibração, procedeu-se às leituras do °Brix das amostras transferindo de 3 a 4 gotas de amostra homogeneizada para o prisma do refratômetro (IAL, 2008).

4.4.2.2 Cor

Os parâmetros de cor foram determinadas utilizando-se o espectrofotômetro Mini Scan Hunter Lab XE Plus (modelo 4500 L), no sistema de cor Cielab, com iluminante D65, ângulo de observação de 10 °C e calibrado com placa padrão branca (X=80,5; Y=85,3; Z=90,0). Os seguintes parâmetros foram determinados: luminosidade ($L^*=0$ – preto; e $L^*=100$ – branco); a^* - transição da cor verde ($-a^*$) para o vermelho ($+a^*$); e b^* - transição da cor azul ($-b^*$) para a cor amarela ($+b^*$).

A partir destes valores, calcularam-se os valores de croma (c^*) (Equação 4.4)

$$c^* = [(a^*)^2 + (b^*)^2]^{0,5} \quad (4.4)$$

4.4.2.3 Isotermas de Adsorção de Água

Foram determinadas as isotermas de adsorção das farinhas obtidas a partir da casca de jaca utilizando-se o método estático-indireto, descrito por Capriste e Rotstein (1982) na temperatura de 25 °C. As medidas das a_w das amostras de farinhas foram determinadas utilizando o equipamento AquaLab (Marca Decagon Devices, modelo 3TE) a 25 °C. O TA de equilíbrio em base seca (b.s.) foi determinado pela relação entre a massa de água e a massa seca das amostras (Equação 4.5).

$$X_{eq} = \frac{m_{eq} - m_s}{m_s} \cdot 100 \quad (4.5)$$

Em que:

X_{eq} - TA de equilíbrio (b.s), %;

m_{eq} - massa da amostra no equilíbrio, g;

m_s - massa seca da amostra, g.

4.4.2.3.1 Modelos Matemáticos

Os modelos de GAB, Oswin e Peleg (Tabela 4.1) foram ajustados aos dados experimentais das isotermas de adsorção de água fazendo-se uso de regressão não linear e utilizando-se o programa Statistica 8.0.

Tabela 4.1. Modelos matemáticos de ajuste de isotermas de adsorção de água.

| Modelo | Equação | Referências |
|--------|---|------------------|
| GAB | $X_{eq} = \frac{x_m C k a_w}{(1 - k a_w)(1 - k a_w + C k a_w)} \quad (2)$ | (ANDERSON, 1946) |
| Oswin | $X_{eq} = a \left(\frac{a_w}{(1 - a_w)} \right)^b \quad (3)$ | (OSWIN, 1946) |
| Peleg | $X_{eq} = K_1 a_w^{n_1} + K_2 a_w^{n_2} \quad (4)$ | (PELEG, 1993) |

Em que:

X_{eq} - teor de água de equilíbrio;

a_w -atividade de água;

X_m - teor de água na monocamada molecular;

C e K - parâmetros que dependem da temperatura e natureza do produto;

K_1 , K_2 , n_1 , n_2 , a e b - constantes da equação.

Os critérios usados para determinação do melhor ajuste dos modelos às isotermas foram: o coeficiente de determinação (R^2) e o desvio quadrático médio (DQM), conforme a equação 3.7 do item 3.4.1.1 do capítulo 3.

4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.5.1 Caracterização Físicas e Químicas dos Produtos Farináceos dos Resíduos de Jaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam.)

A caracterização física e química dos produtos farináceos do eixo e pívide da jaca, submetidas ao processo de secagem em estufa a 60 °C estão apresentadas na Tabela 4.2.

Tabela 4.2. Caracterização física e química dos produtos farináceos do eixo e pívide da jaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam.).

| | Farinha do Eixo | Farinha do Pívide |
|---------------------------------|-----------------|-------------------|
| Teor de água (%) | 5,81 ± 0,88 | 11,59 ± 1,35 |
| Resíduo Mineral Fixo (%) | 8,96 ± 0,11 | 5,10 ± 0,02 |
| pH | 5,73 ± 0,01 | 5,67 ± 0,12 |
| Sólidos Solúveis Totais (°Brix) | 2,27 ± 0,11 | 2,2 ± 0,0 |
| Proteína bruta (%) | 3,72 ± 0,98 | 6,12 ± 0,21 |

De acordo com a Tabela 4.2 para a farinha do eixo de jaca, o teor de água (TA) encontrado na farinha foi de 5,81 %, inferior aos 15 % estabelecido pela ANVISA em vigor em todo território brasileiro (BRASIL, 1996). Diversos estudos relatam o TA da farinha da semente de jaca, como é o caso dos estudos realizados por Silveira (2000) e Santos (2009). Silveira analisando farinhas de caroço de jaca das variedades dura e mole obteve como resultados, o TA de 12,67 e 9,76 %, respectivamente. Santos (2009) realizou a caracterização físico-química, e determinou algumas propriedades funcionais das proteínas da farinha da semente de jaca, obtendo TA de 9,24 %.

Para a farinha do pívide da jaca, o TA da farinha foi de 11,59 %, semelhante aos dados padrões estabelecidos pela ANVISA para as farinhas vegetais (BRASIL, 1996). De acordo com este parâmetro, a farinha do pívide obtida por secagem em estufa está adequada para o consumo alimentício.

Para o resíduo mineral fixo (RMF), a farinha do eixo central do fruto apresentou um teor de 8,96 %, superior ao teor máximo de 4 % permitido para a farinha de vegetais pela

legislação brasileira (BRASIL, 2001). Cruz et al. (2007) estudaram a obtenção da farinha da semente de jaca por diferentes métodos que encontraram um teor de RMF de 2,37%.

A farinha do pívide, obteve-se o resultado de 5,10 %, próximo aos dados vigentes permitido para a farinha de vegetais pela legislação brasileira. Silva et al. (2003) destaca a importância do teor de RM na composição de farinhas, pois favorece a qualidade nutricional do alimento.

O pH encontrado na farinha do eixo foi de 5,73, segundo o Instituto de Ciências e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (2012), a farinha de trigo tem pH entre 6,1 e 6,8. Costa et al. (2016) que obtiveram e caracterizaram quimicamente a farinha de algaroba em forno de micro-ondas (FMO), obtiveram pH da farinha de 6,06. Portanto, o valor de pH da farinha obtida neste trabalho está de acordo com os resultados encontrados para outros tipos de farinha.

O valor médio encontrado para o pH da farinha do pívide foi de 5,67. Desta forma, a farinha avaliada está dentro dos padrões de farináceos normalmente encontrados no mercado. Segundo Fernandes et al. (2008), a medida do pH em alimentos é importante para verificar e determinar: a deterioração do alimento com crescimento de micro-organismos, retenção do sabor-odor de produtos de frutas, verificação do estado de maturação de frutas, entre outros.

O teor de sólidos solúveis totais (SST) da farinha foi de 2,27 °Brix, superior ao resultado obtido para o resíduo *in natura* (1,6 °Brix) (SOUSA et al., 2015). Este fato pode ser justificado pelo processo de secagem sofrido. De acordo com Costa (2004), a quantidade de SST poderá contribuir na redução do açúcar utilizado em formulações alimentícias.

Para os SST, a farinha do pívide apresentou valor médio de 2,2 °Brix. Este valor foi inferior ao resultado encontrado por Costa et al. (2016) em farinha de algaroba de 8,06 °Brix. Essa diferença no teor de SST para diferentes produtos farináceos pode estar relacionada com a dissociação, principalmente, de açúcares na água presente no alimento (SILVA, 2015).

O teor de proteína bruta (PB) da farinha do eixo foi de 3,72 %, inferior ao encontrado por Silveira (2000) que obteve um valor de 5,05 % para a farinha de caroço de jaca dura e 5,14 % para a farinha de caroço de jaca mole. O teor médio de PB da farinha do pívide foi de 6,12 %. Resultado semelhante foi encontrado por Prette (2012) que estudou o aproveitamento de polpa e resíduos da jaca através de secagem convectiva, obtendo para a farinha dos resíduos da jaca (constituída principalmente de sementes e pívide) o teor de PB de 7,41 %.

4.5.2 Caracterização Física e Química dos Produtos Farináceos do Resíduo Casca de Jaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam.)

A Tabela 4.3 refere-se à caracterização física e química das farinhas do resíduo casca da jaca (*A. heterophyllus* Lam.) obtida a partir de secagem em estufa de circulação de ar forçada a 60 °C e em forno de micro-ondas (FMO).

Tabela 4.3. Caracterização física e química dos produtos farináceos da casca de jaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) obtidas por secagem em estufa e FMO.

| | Farinha da Casca Estufa | Farinha da Casca FMO |
|-------------------------------------|----------------------------|-------------------------|
| Teor de água (%) | 6,37 ± 0,62 | 7,87 ± 0,90 |
| Resíduo Mineral Fixo (%) | 3,86 ± 0,03 | 4,31 ± 0,31 |
| pH | 5,46 ± 0,006 | 5,33 ± 0,0 |
| Sólidos Solúveis Totais (°Brix) | 2,33 ± 0,06 | 2,1 ± 0,11 |
| Proteína bruta (%) | 4,60 ± 0,11 | 4,95 ± 0,21 |
| Atividade de Água (a _w) | 0,330 ± 0,004 | 0,444 ± 0,002 |
| Luminosidade (L*) | 45,13 ± 0,21 | 49,58 ± 0,09 |
| Intensidade de verde (-a*) | 9,60 ± 0,12 | 10,60 ± 0,006 |
| Intensidade de amarelo (-b*) | 23,63 ± 0,45 | 27,67 ± 0,11 |
| Cromaticidade (C*) | 25,50 ± 0,46 | 29,63 ± 0,10 |

O resultado da determinação do TA pelo método de secagem em estufa indica que a farinha de casca apresentou um TA médio de 6,37 % e, para a farinha obtida pela aplicação de FMO, o TA médio foi de 7,87 %, valores dentro do padrão estipulado pela legislação brasileira que estabelece o máximo de 15 %. Comparando os resultados para o TA, percebe-se que o TA da farinha de casca quando submetida à secagem em FMO sob a potência de 262,5 W e tempo de exposição de 50 min foi próxima ao valor encontrado para a farinha submetida a estufa a 60 °C e tempo de secagem de 420 min., demonstrando a eficiência do processo utilizando FMO.

A determinação desse parâmetro é essencial, pois segundo Airani (2007) quanto menor o TA, maior tempo de vida útil e melhor qualidade da farinha, o que beneficia sua utilização para o desenvolvimento de outros produtos.

Anwar (2010) fez um estudo comparativo entre a secagem de bagaço de cana-de-açúcar pelos métodos de secagem em estufa e secagem em micro-ondas (MO) e verificou pequena variação na diferença do TA final entre os métodos utilizados, demonstrando que a secagem em MO é um método efetivo que podem ser aplicado, uma vez que, proporcionou a redução do tempo de secagem de 8 a 10 h em estufa para 20 a 25 min em FMO. Portanto, o uso MO pode ser uma alternativa rápida e economicamente viável, sem que haja perda da qualidade da farinha.

Os valores médios de RMF foram de 3,86 e 4,31 % para as farinhas de casca obtidas por estufa e FMO, respectivamente. Os teores de RMF encontrados para as farinhas obtidas estão de acordo com o teor máximo de 4 % permitido para a farinha de vegetais pela legislação brasileira.

Observou-se que os valores médios de pH das farinhas de estufa e FMO foram 5,46 e 5,33, respectivamente. Nota-se que não apresentaram diferenças significativas e estão de acordo com os valores observados na literatura para os diferentes produtos farináceos.

Para os SST, as farinhas obtidas em estufa e FMO apresentaram valores médios de 2,33 e 2,1 °Brix, respectivamente, não havendo variações entre si, apesar dos diferentes métodos de secagem sofridos.

Os teores médios de PB das farinhas foram de 4,60 %, submetidas à secagem em estufa, e 4,95 %, com aplicação de MO. Considerando que a farinha da casca de jaca é obtida de um resíduo da jaca, podemos considerá-la rica em proteína em comparação com a farinha da polpa da jaca que possui um teor de proteína de 5,58 %, encontrado por Lima et al.(2004). Prette (2012) encontrou resultado semelhante para a farinha da polpa, o teor de PB foi de 5,76 %. Ainda de acordo com o mesmo autor, a casca, entre todos os componentes da jaca, foi a que apresentou maior quantidade de fibra alimentar, o que sugere novas pesquisas para aproveitamento deste recurso.

As farinhas de casca submetidas a diferentes processos de secagem em estufa e FMO apresentaram atividade de água (a_w), em média, de 0,33 e 0,44, respectivamente. Resultado semelhante foi determinado por Álvares, Miqueloni e Negreiros (2016) que analisaram a variabilidade da farinha de mandioca artesanal quanto ao parâmetro a_w , encontrando o valor de 0,43, indicando a influência deste parâmetro na qualidade da farinha produzida. De acordo com Gava, Silva e Frias (2008), a a_w é a variável que mais influencia na alteração dos alimentos, por estar diretamente relacionada com o crescimento e a atividade metabólica dos micro-organismos e com as reações hidrolíticas, portanto, a farinha submetida à secagem em

FMO apresentou uma a_w próxima quando comparada com a a_w da farinha submetida à secagem em estufa. Mesmo os valores diferentes, ambos apresentaram a_w que inibe o crescimento de micro-organismos, conforme verificado por Campos et al., 2009.

Segundo Marques, Ferreira e Freire (2007), a estabilidade de armazenamento do produto quanto ao escurecimento, reações de oxidação, auto-oxidação e atividade enzimática requerem os valores de a_w entre 0,20 e 0,40. Portanto, a a_w das farinhas ficou entre 0,33 e 0,44, valores considerados na faixa recomendada para o armazenamento, estável, sem atividade microbiológica e enzimática.

Segundo Silva et al. (2012), a qualidade e o procedimento tecnológico da farinha é um fator de grande importância para as indústrias de matérias-primas e para os consumidores desse produto. A coloração da farinha constitui um parâmetro muito importante para sua qualidade, comercialização e utilização como ingrediente em diversas formulações de produtos (GIESE, 2000). É de interesse que o produto apresente intensidade e uniformidade de coloração, a qual pode ser avaliada na casca e na polpa de frutas e hortaliças (CHITARRA e CHITARRA, 2005).

Com relação aos parâmetros da cor das farinhas submetidas à secagem em estufa e FMO (Figura 4.4), a luminosidade (L^*) apresentaram um valor de 45,13 e 49,58, respectivamente. Quanto ao valor de $-a^*$ que foi de 9,60 e 10,60, respectivamente (vermelho) e a intensidade de amarelo ($+b^*$) de 23,63 e 27,67 (amarelo). Nota-se que as farinhas apresentaram cor amarela escura (marrom.)

No tocante ao parâmetro croma (C^*), que representa a intensidade da cor do alimento, as farinhas de casca (estufa e FMO) apresentaram os valores de 25,50 e 29,63, respectivamente. Alimentos que possuem um maior valor C^* são mais atrativos ao mercado consumidor (CHITARRA e CHITARRA, 2005).

Figura 4.2. Farinhas de casca de jaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) obtidas por estufa a 60 °C e FMO. Casca in natura (A). Farinha obtida por MO (B). Farinha obtida por estufa (C).



Fonte: Dados da pesquisa.

4.5.3 Isotermas de Adsorção de Água

Na Tabela 4.4 encontram-se os parâmetros dos modelos de ajuste das isotermas de adsorção, na temperatura de 25 °C, das farinhas de casca de jaca submetidas a secagens em estufa a 60 °C e FMO, ajustados com os modelos de GAB, Peleg e Oswin, e os coeficientes de determinação (R^2) e desvios quadráticos médios (DQM).

Tabela 4.4. Parâmetros dos modelos ajustados a isotermas de adsorção de água das farinhas de casca de jaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) submetidas a secagens em estufa a 60 °C e FMO.

| Farinha de Casca de Jaca | | | | | | | |
|--------------------------|--------------|-----------|---------|---------|--------|-------|--------|
| Modelos | Secagem | Parâmetro | | | | R^2 | DQM |
| | | X_m | C | K | | | |
| GAB | Estufa-60 °C | 6,3214 | 2,2975 | 0,9520 | | 99,90 | 0,2974 |
| | FMO | 5,6189 | 2,6569 | 0,9495 | | 99,78 | 0,3882 |
| Peleg | Estufa-60 °C | K_1 | n_1 | K_2 | n_2 | 99,76 | 0,4620 |
| | FMO | 61,7352 | 10,3904 | 24,5032 | 1,5729 | 99,64 | 0,4984 |
| Oswin | Estufa-60 °C | a | | b | | 99,80 | 0,4127 |
| | FMO | 8,4979 | | 0,7190 | | 99,64 | 0,4984 |
| | | 7,8766 | | 0,6933 | | | |

Observa-se que os R^2 e os DQM para a farinha de casca obtida por secagem em estufa a 60 °C variaram entre 99,76 a 99,90 % e entre 0,2947 a 0,4620, respectivamente. Observa-se que houve bom ajuste aos dados experimentais para todos os modelos, no entanto, o modelo que melhor se ajustou aos dados experimentais foi o modelo de GAB por apresentar o maior R^2 (99,90 %) e menor valor de DQM de 0,2974.

Lomauro, Bakshi e Labuza (1985) verificaram que a equação de GAB pode representar bem as isotermas em mais de 50 % de frutas quando comparadas com equações de dois parâmetros, sendo assim amplamente utilizada para descrever isotermas de sorção de diversos produtos, como constatado por Oliveira et al. (2005), Oliveira et al. (2006), Araújo et al. (2005) e Gabas, Telis-Romero e Menegalli (1998) que testaram vários modelos matemáticos para o ajuste dos dados das isotermas, em diversas temperaturas, da casca do abacaxi, casca do maracujá, palma forrageira e uva Itália, respectivamente, concluindo que GAB foi o modelo que melhor ajustou as isotermas.

Para a farinha de casca submetida à aplicação de MO, determinou-se que os valores de R^2 variaram entre 99,64 a 99,78 % e os DQM variaram de 0,3882 a 0,4984. O modelo de GAB também apresentou o melhor ajuste aos dados experimentais com R^2 de 99,78 % e o DQM com valor de 0,3882.

O método de secagem que apresentou o menor X_m foi a secagem com aplicação de MO. Segundo Gabas et al. (2009) e Mosquera, Moraga e Martinez-Navarrete (2012), o valor do teor de água (TA) em monocamada é de interesse, pois indica a quantidade de água que é fortemente adsorvida na superfície do produto e pode estar ligada à estabilidade.

De acordo com a classificação de Blahovec (2004), as isotermas de adsorção de água são do tipo II quando apresentam valores dentro da faixa $0 < K \leq 1$ e $C > 2$. As isotermas de adsorção de ambas as farinhas de casca apresentaram comportamento de curvas do tipo III, segundo a classificação de Brunauer et al. (1940).

Bezerra et al (2011), estudando a aplicação de modelos matemáticos em polpas de manga desidratadas em pó obtiveram valores inferiores para monocamada, com $X_m < 1$ e $K < 0,99$ e valores superiores para $C > 1$ e $R^2 > 0,97$ para as isotermas de adsorção na temperatura de 22 °C para o modelo de GAB.

Campos et al. (2009), ao estudar as isotermas de adsorção e calor isostérico da palma forrageira enriquecida proteicamente observou que o valor da monocamada X_m aumentava quando a temperatura era elevada de 30 para 35 °C e diminuía com o progressivo aumento da temperatura, e o valor de C diminuía quando a temperatura aumentava de 35 para 40 °C.

O modelo de Peleg apresentou R^2 de 99,76 % e DQM com valor de 0,4620, para os dados experimentais de farinha de casca obtida por secagem em estufa. Para a farinha de casca obtida por FMO, esse modelo apresentou R^2 e DQM de 99,64 % e 0,4984, respectivamente. Nos ajustes com esse modelo, as constantes k_1 , n_1 , k_2 , e n_2 apresentaram comportamento indefinido, entre as farinhas. Para a farinha obtida por estufa a 60 °C verificou-se que os parâmetros k_1 , n_1 foram maiores quando comparados com os mesmos parâmetros da farinha de casca obtida por FMO. Já para os parâmetros k_2 , e n_2 apresentaram menor valor quando se compara ao método de secagem por MO.

Donato (2015) estudou três métodos de secagem de spirulina (*Spirulina platensis*) e sua utilização na produção de biscoitos, verificando que o modelo que melhor se ajustou aos dados experimentais das isotermas de adsorção, a 20, 30 e 40 °C, da biomassa foi o de Peleg, sendo as isotermas classificadas como do tipo II e III.

O modelo de Oswin apresentou um bom ajuste com R^2 de 99,80 % e DQM com valor de 0,4127, para os dados experimentais de farinha de casca submetida a secagem em estufa. O parâmetro **a** apresentou redução com o outro método de secagem com aplicação de MO, o que pode indicar um aumento da temperatura na farinha de casca submetida à FMO. E o parâmetro **b** do referido modelo apresentou o mesmo comportamento ao mudar o método de secagem de estufa para aplicação de MO. Para a farinha de casca aplicada a MO, esse modelo apresentou R^2 e DQM igual ao modelo de Peleg, com valor de 99,64 % e 0,4984, respectivamente.

Nas Figuras 4.2 e 4.3, tem-se a representação gráfica das isotermas de adsorção de água das farinhas obtidas por estufa a 60 °C e FMO na temperatura de 25 °C, ajustadas com o modelo de GAB consideradas o melhor modelo.

Figura 4.3. Isotermas de adsorção de água da farinha de casca de jaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) obtida por secagem em estufa a 60 °C, com ajuste pelo modelo de GAB.

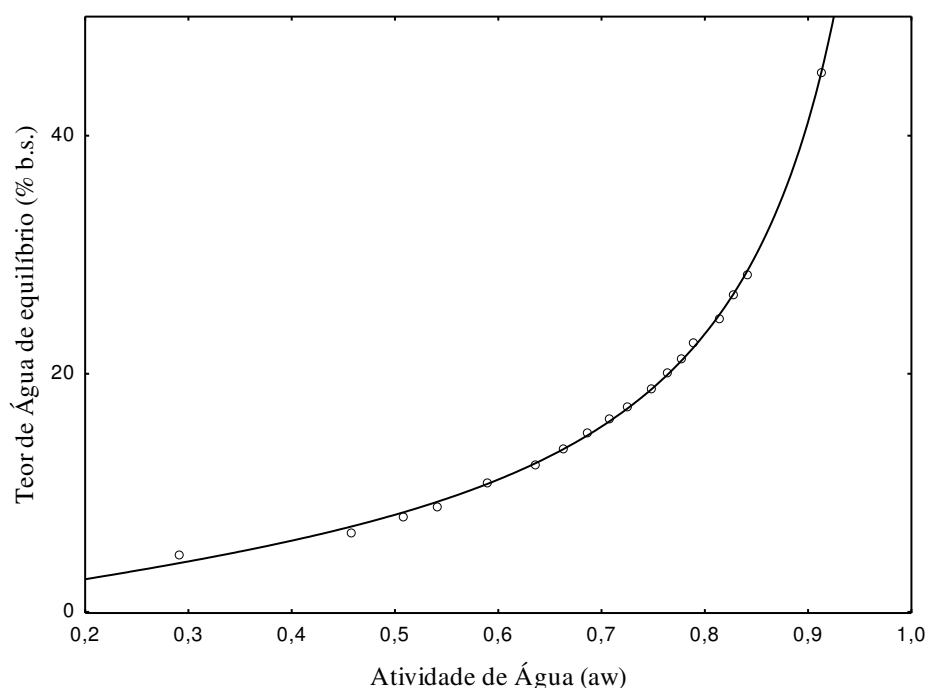
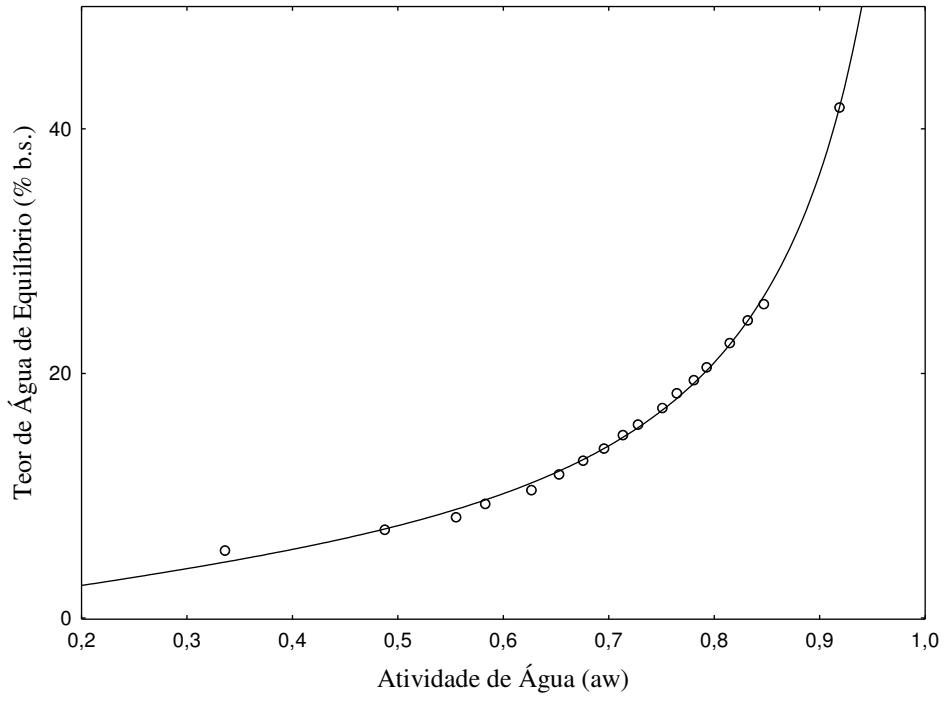


Figura 4.4. Isotermas de adsorção de água da farinha de casca de jaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) obtida por secagem em FMO, com ajuste pelo modelo de GAB.



4.6 CONCLUSÃO

Os produtos farináceos do eixo e pívide da jaca, obtidas pelos processos de secagem em estufa a 60 °C e FMO obtiveram para o TA valores médio de 5,81 e 11,59 %, RMF de 8,96 e 5,10 %, pH de 5,73 e 5,67, SST de 2,27 e 2,2 °Brix e PB de 3,72 e 6,12 %, respectivamente.

As farináceas de casca de jaca obtidas por estufa a 60 °C e FMO apresentaram diferenças quanto suas características físicas e químicas, podendo ser justificado pelo método de secagem empregado.

O modelo de GAB apresentou os melhores ajustes às isotermas de adsorção de água das farinhas obtidas por secagem em estufa a 60 °C e FMO. As isotermas foram classificadas como do tipo III.

REFERÊNCIAS

- AIRANI, S. **Nutritional quality and value addition to jack fruit seed flour**. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos e Nutrição), 48 p. University of Agricultural Sciences, Dhaewad, 2007.
- ÁLVARES, V. S.; MIQUELONI, D. P.; NEGREIROS, J. R. S. Variabilidade físico-química da farinha de mandioca do território da Cidadania do Vale do Juruá, Acre. **Revista Ceres**, v. 63, n. 2, p. 113-121, 2016.
- AMORIM, A. G.; LOURENÇO NETA, M.; PLÁCIDO, V. N.; VIANA, A. C. **Elaboração e avaliação sensorial de produtos (biscoito tipo cookie e tartaleta de frango) produzidos a partir do aproveitamento da semente da abóbora (*Cucurbita maxima*)**. In: VII Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação. Ciência, tecnologia e Inovação: ações sustentáveis para o desenvolvimento regional. Palmas-TO, 2012.
- ANWAR, S. I. Determination of moisture content of bagasse of jaggery unit using microwave oven. **Journal of Engineering Science and Technology**, v. 5, n. 4, p. 472-478, 2010.
- ARAÚJO, L. F.; MEDEIROS, A. N.; PERAZZO NETO, A.; OLIVEIRA, L. S. C.; SILVA, F. L. H. Protein enrichment of cactus Pear (*Opuntia ficus indica* Mill) using *Saccharomyces cerevisiae* in solid-state fermentation. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 48, n. special, p. 161-168, 2005.
- ARAÚJO FILHO, D. G.; EIDAM, T.; BORSATO, A. V.; RAUPP, D. S. Processamento de produto farináceo a partir de beterrabas submetidas à secagem estacionária. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 33, n. 2, p. 207-214, 2011.
- ARAÚJO, F. H. O.; MIRANDA, I. O.; SANTOS, M. V. S.; OLIVEIRA, L. C.; SANTOS, J. C. Avaliação da aplicabilidade de farinha de sabugo de milho no enriquecimento de produtos alimentícios. **Nutrição Brasil**, n. 1, v. 15, p. 22-29, 2016.
- ASSUNÇÃO, A. B.; PENA, R. S. Comportamento higroscópico do resíduo seco de camarão rosa. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 4, p. 786-793, 2007.
- BEZERRA, T. S.; COSTA, J. M. C.; AFONSO, M. R. A.; MAIA, G. A.; CLEMENTE, E. Avaliação físico-química e aplicação de modelos matemáticos na predição do comportamento de polpas de manga desidratadas em pó. **Revista Ceres**, v. 58, n.3, p. 278-283, 2011.
- BIZOT, H. Using the G.A.B. model to construct sorption isotherms. In: JOWIT, R. et al. **Physical properties of foods**. Applied Science Publishers, cap. 4, p. 43-54, 1983.
- BLAHOVEC, J. Sorption isotherms in materials of biological origin mathematical and physical approach. **Journal of Food Engineering**, v. 65, n. 4, p. 489-495, 2004.
- BORGES, A. M.; PEREIRA, J.; SILVA JÚNIOR, A.; LUCENA, E. M. P.; SALES, J. C. Estabilidade da pré- mistura estabilidade da pré-mistura de bolo elaborada com 60% de farinha de banana verde. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, n. 1, p. 173-181, 2010.

BRAGA, M. E. D. **Estudo da histerese entre sorção e dessorção do milho BR-451**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), UFPB, 1991.

BRASIL, Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). **Portaria nº 354, de 18 de julho de 1996**. Disponível em: http://www.anvisa.gov.br/anvisalegis/portarias/354_96.htm Acesso em: 30/04/2016

BRASIL, Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Resolução-CNNPA nº 12 de 02 de janeiro de 2001. **Normas técnicas especiais relativas a alimentos (e bebidas), fixando padrões de identidade e qualidade, para efeito em todo o território brasileiro**. Disponível em: http://www.anvisa.gov.br/legis/resol/12_01rdc.htm Acesso em: 02/05/2016.

BRENNAN, J. G. **Food processing handbook**. Weinheim: Wiley-VCH, 602 p., 2006.

BRUNAUER, S.; DEMING, L. S.; TELLER, E. **Journal of the American Chemical Society**, v. 62, n. 7, p. 1723-1732, 1940.

CAMPOS, A. R. N. **Enriquecimento nutricional da palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill): estudo experimental de ampliação de escala**. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos), UFCG, Campina Grande-PB, 2008.

CAMPOS, A. R. N.; SILVA, F. L. H.; GOMES, J. P.; OLIVEIRA, L. S. C.; OLIVEIRA, M. M. Isotermas de adsorção e calor isostérico da palma forrageira enriquecida proteicamente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 6, p. 734–740, 2009.

CAPRISTE, G. H.; ROTSTEIN, E. Prediction of sorption equilibrium data for starch-containing foodstuffs. **Journal of Food Science**, v. 47, n. 5, p. 1501-1507, 1982.

CARVALHO, R. V. **Formulações de snacks de terceira geração por extrusão: caracterização texturométrica e microestrutural**. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos), 89 p. UFLA, Lavras-MG, 2000.

CHINNAN, M. S.; BEUCHAT, L. R. Sorption isotherms of whole cowpeas and flours. **Lebensmittel Wissenschaft and Technologie**, v. 18, n. 2, p. 83-88, 1985.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. D. **Pós-colheita de frutas e hortaliças: Fisiologia e manuseio**. UFLA, 2 ed., p. 572-575, Lavras-MG, 2005.

COSTA, W. S.; SUASSUNA FILHO, J.; MATA, M. E. R. M. C.; QUEIROZ, A. J. M. Influência da concentração de sólidos solúveis totais no sinal fotoacústico de polpa de manga. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 6, n. 2, p.141-147, 2004.

COSTA, J. D.; SOUSA, A. P. M.; SILVA, A. P. F.; DANTAS, D. L.; CAMPOS, A. R. N. **Obtenção e caracterização química da farinha de algaroba (*Prosopis juliflora*)**. In: Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Ciências, Campina Grande-PB, 2016.

CRUZ, E. N.; RIBEIRO, J. C. A.; LIRA, K. M.; SANTOS, J. G.; MOREIRA, R. T.; SANTOS, E. P. **Obtenção de farinha de caroço de jaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam.)**

através de cozimento e secagem em calor seco. In: II Jornada Nacional da Agroindústria, Bananeiras-PB, 2007.

DAGUENET, M. **Les séchoirs solaires: théorie et pratique.** Paris: UNESCO. 578 p., 1985.

DEL-VECHIO, G.; CORRÊA, A. D.; ABREU, C. M. P.; SANTOS, C. D. Efeito do tratamento térmico em sementes de abóboras (*Cucurbita* spp.) sobre os níveis de fatores antinutricionais e/ou tóxicos. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 29, n.2, p. 369-76, 2005.

DONATO, N. R. **Secagem de spirulina (*Spirulina platensis*) e utilização na produção de biscoitos.** Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola), UFCCG, Campina Grande-PB, 2015.

ENGEL, B.; BACCAR, N. M.; MARQUARDT, L.; OLIVEIRA, M. S. R.; ROHLFES, A. L. B. Tecnologias de atomização e desidratação: alternativas para a produção de farinhas a partir de vegetais. **Revista Jovens Pesquisadores**, v. 6, n. 1, p. 31-44, 2016.

FELLOWS, J. P. **Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e prática.** 2.ed., editora Artmed, 602 p., Porto Alegre-RS, 2006.

FERNANDES, A. R. M.; SAMPAIO, A. A. M.; HENRIQUE, W.; OLIVEIRA, E. A.; TULLIO, R. R.; PERECIN, D. Características da carcaça e da carne de bovinos sob diferentes dietas, em confinamento. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 60, n. 1, p. 139-147, 2008.

FURMANIAK, S.; TERZYK, A.P.; GAUDEN, P.A.; RYCHLICKI, G. Applicability of the generalised D'Arcy and Watt model to description of water sorption on pineapple and other foodstuffs. **Journal of Food Engineering**, v. 79, n. 2, p. 718-723, 2007.

GABAS, A. L.; TELIS-ROMERO, J.; MENEGALLI, F. C. Permeabilidade da casca de uva Itália. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 1, n. 1,2, p. 90-96, 1998.

GABAS, A. L.; TELIS-ROMERO, J.; GIRALDO-GÓMEZ, G. I.; TELIS, V. R. N. Propiedades termodinámicas de sorción de agua de la pulpa de lulo en polvo com encapsulantes. **Revista Ciências e Tecnologia de Alimentos**, v. 29, n. 4, p. 911-918, 2009.

GAVA, A. J.; SILVA, C. A. B.; FRIAS, J. R. G. **Tecnologia de alimentos: princípios e aplicações.** São Paulo: Nobel, 2008.

GIESE, J. Color measurement in foods as a quality parameter. **Food Technology**, v. 54, n. 2, p. 62-63, 2000.

GIUNTINI, E. B.; LAJOLO, F. M.; MENEZES, E. W. Potencial de fibra alimentar em países ibero-americanos: alimentos, produtos e resíduos. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, v. 53, n. 1, p. 14-20, 2003.

GOMES, F. O.; SOUSA, M. M.; SOUSA, L. M. C.; CARDOSO, J. R.; SILVA, R. A. Desenvolvimento de barras de cereais à base de farinha de albedo de maracujá amarelo (*Passiflora edulis*). **Revista ACTA Tecnológica-Revista Científica**, v. 5, n. 2, p.115-125, 2010.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ (IAL). **Métodos Físico-Químicos para Análise de Alimentos**. 4ª Ed., 1ª Ed. Digital, São Paulo, 2008.

INSTITUTO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS (ICTA) /UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL (UFRGS). **Avaliação da qualidade tecnológica/industrial da farinha de trigo**. (2012) Disponível em: <http://thor.sead.ufrgs.br/objetos/avaliacao-farinha-trigo>. Acesso em: 30/04/2016.

LAHSASNI, S.; KOUHILA, M.; MAHROUZ, M.; FLIYOU, M. Moisture adsorption-desorption isotherms of prickly pear cladode (*Opuntia ficus indica*) at different temperatures. **Energy Conversion and Management**, v. 44, n. 1, p. 923–936, 2003.

LIMA, A. S.; MARCELLINI, P. S.; RAMOS, A. L. D.; MENEZES, A. L. N.; SILVA, E. A.; SANTOS, A. A. **Produção de pães de forma com incorporação de farinha de semente de jaca (*Artocarpus heterophyllus*)**. In: Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Recife-PE, 2004. Anais... Recife-PE: SBCTA, 2004.

LOMAURO, C. J.; BAKSHI, A. S.; LABUZA, T. P. Evaluation of food moisture sorption isotherm equations. Part I: Fruit, vegetable and meat products. **Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie**, v. 18, n. 2, p. 111-117, 1985.

MARQUES, L. G.; FERREIRA, M. C.; FREIRE, J. T. Freeze-drying of acerola (*Malpighia glabra* L.). **Chemical Engineering and Processing**, v. 46, n. 5, p. 451-457, 2007.

MARTINS, P. C.; PORTO, P. S. S.; PINTO, L. A. A. Estudo das propriedades físicas e de transporte na secagem de cebola (*Allium cepa* L.) em camada delgada. **Revista Ciências e Tecnologia de Alimentos**, v. 24, n. 3, p. 319-326, 2004.

MOSQUERA, L. H.; MORAGA, G.; MARTINEZ-NAVARRETE, N. Critical water activity and critical water content of freeze-dried strawberry powder as affected by maltodextrin and arabic gum. **Food Research International**, v.7, n. 2, p. 201-206, 2012.

OLIVEIRA, M. M.; CAMPOS, A. R. N.; GOMES, J. P.; SILVA, F. L. H. Isotermas de sorção do resíduo agroindustrial de casca do abacaxi (*Ananas comosus* L. Mer.). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, n. 5, p. 565-569, 2005.

OLIVEIRA, M. M.; CAMPOS, A. R. N.; DANTAS, J. P.; GOMES, J. P.; SILVA, F. L. H. Isotermas de dessorção da casca do maracujá (*Passiflora edulis* Sims): determinação experimental e avaliação de modelos matemáticos. **Ciência Rural**, v. 36, n. 5, p. 1624-1629, 2006.

OZORES, B.; STORCK, C. R.; FOGAÇA, A. O. Aceitabilidade e características tecnológicas de bolo enriquecido com farinha de maracujá. **Disciplinarum Scientia**, Série: Ciências da Saúde, Santa Maria, v. 16, n. 1, p. 61-69, 2015.

PALACIN, J. J. F.; LACERDA FILHO, A. F.; CECON, P. R.; MONTES, E. J. M. Determinações das curvas de secagem de milho nas espigas (*Zea mays* L.). **Engenharia na Agricultura**, v. 13, n. 4, p. 300-313, 2005.

- PELEG, M. Assessment of a semi-empirical four parameter general model for sigmoid moisture sorption isotherms. **Journal of Food Processing Engineering**, v. 16, n. 1, p. 21-37, 1993.
- PEREIRA, G. I. S.; PEREIRA, R. G. F. A.; BARCELOS, M. F.; MORAIS, A. R. Avaliação química da folha de cenoura visando ao seu aproveitamento na alimentação humana. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 27, n. 4, p. 852-857, 2003.
- PRETTE, A. P. **Aproveitamento de polpa e resíduos de jaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) através de secagem convectiva**. Tese, 161 p. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, UFCG. Campina Grande, PB, 2012.
- SANTOS, C. T. **Farinha da semente de jaca: caracterização físico-química e propriedades funcionais**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos), 73 p., UESB, Itapetinga-Ba, 2009.
- SANTOS, C. X. **Caracterização físico-química e análise da composição química da semente de goiaba oriunda de resíduos agroindustriais**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos), 61 p. UESB, Itapetinga-BA, 2011.
- SCHWANKE, R. O. **Determinação da difusividade de hidrocarbonetos aromáticos em zeólitas Y por métodos cromatográficos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), 115 p. UFSC, Florianópolis-SC, 2003.
- SILVA, L. F.; LIMA, D. F.; NASCIMENTO, C. B. S.; LIMA, R. B.; FARIAS, G. G. M. Efeitos da farinha de algaroba (*Prosopis juliflora*) durante as fases de gestação e lactação em ratas *wistar*. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, v. 25, n. 2, p. 459-465, 2003.
- SILVA, L. H.; COSTA, P. F. P.; NOMIYAMA, G. W.; SOUZA, CHANG, I. P. Y. K. Caracterização físico-química e tecnológica da farinha de soja integral fermentada com *Aspergillus oryzae*. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 15, n. 4, p. 300-306, 2012.
- SILVA, M. I. V. **Controle da qualidade: Análises físico-químicas**. Relatório apresentado ao curso de Engenharia Química, 42 p., UFRN, Natal-RN, 2015.
- SILVEIRA, P. L. **Estudo da elaboração de passas da polpa, aproveitamento dos caroços e resíduos da jaca (*Artocarpus heterophyllus*)**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia e Alimentos), 77 p. UFPB, João Pessoa-PB, 2000.
- SOUSA, A. P. M.; MACEDO, A. D. B.; SILVA, A. P. F.; MATTOS, M. A.; PRASAD, S.; SANTANA, R. A. C.; CAMPOS, A. R. N. **Caracterização física e química de jacas comercializadas no município de Lagoa Seca - PB**. III workshop de ciências naturais e biotecnologia. UFCG, Cuité-PB, 2015.
- VAN DEN BERG, C.; BRUIN, S. Water activity and its estimation in food systems: theoretical aspects. In: ROCKLAND, L. B.; STEWART, G. F. **Water activity: influences on food quality**. London, Academic Press Inc., p. 1-61, 1981.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A massa total da jaca é constituída de aproximadamente 76 % de resíduos (casca, eixo, pívide e sementes).

Os resíduos de jaca apresentaram características físicas e químicas que indicam a possibilidade de seu aproveitamento através do desenvolvimento de novos produtos destinados ao consumo humano e animal, tornando-se uma alternativa para solucionar o problema de acúmulo de resíduo e gerando um produto de valor agregado.

O emprego da levedura *Saccharomyces cerevisiae* na fermentação semissólida da casca e do bagaço viabiliza a obtenção de um suplemento proteico, que poderá posteriormente ser utilizado como fonte alternativa de maior potencial proteico na alimentação de ruminantes, quando comparada a outros alimentos oferecidos aos animais.

A elaboração da farinha de resíduos de jaca obtida por secagem convectiva e forno de micro-ondas foi potencialmente viável para o aproveitamento dos resíduos da fruta. O produto apresentou características físicas e químicas dentro dos padrões estabelecidos, demonstrando ser um produto que poderá, posteriormente, ser utilizado na formulação de novos produtos alimentícios.

REFERÊNCIAS

ANUÁRIO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 2013. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta. Disponível em: <http://www.grupogaz.com.br/editora/anuarios/show/4333.html>
Acesso em: 23 janeiro de 2016.

CARVALHO, R. M.; CUNHA FILHO, M. H. Competitividade da Fruticultura Brasileira no Mercado Internacional. **Revista de Economia e Agronegócio**, v. 5, n. 4, p. 547-566, 2003.

OLIVEIRA, L. A.; LORDELO, F. S.; TAVARES, J. T. Q.; CAZETTA, M. L. Aproveitamento da calda residual da cristalização de jaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) para elaboração de bebida fermentada. **Magistra**, v. 25, n. 2, p. 157-163, 2013.

PELIZER, L. H.; PONTIERI, M. H.; MORAES, I. O. Utilização de resíduos agroindustriais em processos biotecnológicos como perspectiva de redução do impacto ambiental. **Journal of Technology Management and Innovation**, v. 2, p. 118-127, 2007.

PRETTE, A. P. **Aproveitamento de polpa e resíduos de jaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) através de secagem convectiva**. Tese (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola) 161 p., UFCG. Campina Grande-PB, 2012.

SOUZA, T. S. **Desidratação osmótica de frutículos de jaca (*Artocarpus integrifolia* L.): aplicação de modelos matemáticos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos), 65 p., UESB. Itapetinga-BA, 2007.