



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA

ANTONIO ALBINO DA SILVA JÚNIOR

**DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA E APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS DA
JACA (*Artocarpus Integrifolia L. f.*)**

RECIFE
2016

ANTONIO ALBINO DA SILVA JÚNIOR

**DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA E APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS DA
JACA (*Artocarpus Integrifolia L. f.*)**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Engenharia Química.

Área de Concentração: Engenharia Química.

Linha de Pesquisa: Processos Químicos Industriais.

Orientador: Prof. Dr. Mohand Benachour.

Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Sonia Sousa Melo Cavalcanti de Albuquerque.

Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Samara Alvachian Cardoso Andrade.

RECIFE

2016

Catalogação na fonte
Bibliotecária: Rosineide Mesquita Gonçalves Luz / CRB4-1361 (BCTG)

S586d Silva Júnior, Antonio Albino da.
Desidratação osmótica e aproveitamento dos resíduos da jaca (*Artocarpus integrifolia L. f.*) / Antonio Albino da Silva Júnior. – Recife, 2016.
107 f., il., figs. e tabs.

Orientador: Profº. Dr. Mohand Benachour.
Coorientadora: Profª. Drª. Sonia Sousa Melo Cavalcanti de Albuquerque.
Coorientadora: Profª. Drª. Samara Alvachian Cardoso Andrade.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, 2016.
Inclui Referências, Apêndices e Anexos.

1. Engenharia Química. 2. Desidratação osmótica. 3. Resíduos da jaca.
4. Biscoitos. 5. Bioadsorventes. 6. Adsorção. 7. Ferro. I. Benachour,
Mohand (Orientador). II. Albuquerque, Sonia Sousa Melo Cavalcanti de
(Coorientadora). III. Andrade, Samara Alvachian Cardoso
(Coorientadora). IV.Título.

ANTONIO ALBINO DA SILVA JÚNIOR

**DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA E APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS DA
JACA (*Artocarpus Integrifolia L. f.*)**

Linha de Pesquisa: Processos Químicos Industriais

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Pernambuco, aprovada em 15 de fevereiro de 2016 pela banca examinadora constituída pelos seguintes membros:

Prof. Dr. Mohand Benachour/DEQ-UFPE
(Orientador)

Prof^a. Dr^a Samara Alvachian Cardoso Andrade/DEQ-UFPE
(Coorientadora)

Prof^a. Dr^a Sonia Sousa Melo Cavalcante de Albuquerque/DEQ-UFPE
(Coorientadora)

Prof^a. Dr^a Maria de Los Angeles Perez Fernandes Palha/DEQ-UFPE
(Avaliadora Externa)

Prof^a. Dr^a Maria Alice Gomes de Andrade Lima/DEQ-UFPE
(Avaliadora Interna)

Prof^a. Dr^a Olga Martins Marques/DEQ-UFPE
(Avaliadora Externo)

Prof^a. Dr^a Jenyffer Medeiros Campos/DEQ-UFPE
(Avaliadora Externo)

Prof^a. Dr^a Glória Maria Vinhas /DEQ-UFPE
(Avaliadora Interna)

Às minhas Mães:

Juvita Rodrigues da Silva (in memoriam) e

Severina Paraiso da Silva (in memoriam),

Exemplos de dedicação e amor.

Aos 92 anos do meu Pai Antônio Albino da Silva,

Exemplo de resistência.

“É sempre bom lembrar que um corpo vazio está cheio de ar”

(Gil, Gilberto; acesso em 02/02/2016)

AGRADECIMENTOS

A Deus pela grande inspiração da vida, a Maria Santíssima pelo grande exemplo de amor e bondade, aos meus Orixás e toda a Espiritualidade.

A natureza por dar toda energia necessária;

Aos meus pais Antônio Albino da Silva e Juvita Rodrigues da Silva por ter proporcionado uma educação pautada no amor, na verdade, na segurança e honestidade; e aos meus e irmãos Zenilda, Zélia, Zilma, Zenaide, Zuleide, José Albino e Eli Albino (*in memoriam*) por todos os momentos delicados e de felicidade;

Aos meus sobrinhos Wilson, Wermesson, Jéssica, Jansen, Gabriela, Vinicius, Renata, Jorge, Shirlene, Juvita, Alice, Antônia (*in memoriam*) e Juvita Neta pelos momentos prazerosos e amor; aos meus cunhados e cunhada Eliane, Jorge, Jerônimo e Celso, e todas as crianças da minha família pela renovação da pureza e amor nas vidas da família.

À Prof^a. Dr^a. Sonia Sousa Melo Cavalcanti de Albuquerque pela orientação deste trabalho, pela compreensão, confiança, paciência e amizade.

À Prof^a. Dr^a. Samara Alvachian Cardoso Andrade pela compreensão, ensinamento e amizade.

Ao Prof^o. Dr^o. Monhtran Benachour pela grande orientação, pela compreensão, ensinamento no processo da adsorção, amizade, carinho e incentivo no Doutorado.

A todos os Professores da Pós-Graduação Engenharia Química pelos conhecimentos transmitidos.

A Banca de leitura da Tese, Maria Alice, Olga Martins Marques e Yana Batista Brandão pela grande contribuição na correção e sugestões que melhoraram a qualidade deste trabalho.

A Prof^a Dr^a Patrícia Azoubel pela grande ajuda e correção na construção da escrita da tese.

Ao Prof^o Dr^o João Pedro dos Santos Oliveira Filho por seus ensinamentos e exemplo acadêmico.

A Prof^a. Dr^a. Olga Martins Marques pelo grande incentivo e ensinamento.

As minhas amigas Cristiane Moraes, Ana Bastos, Léa Zaidan, Luciene Santos, Andrea Pacheco, Márcia Fernanda e Terezinha.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia, em especial à Maria do Socorro (Secretária do DEQ), a Ana Bastos e Chesque (Laboratório de Engenharia Ambiental e da Qualidade - LEAQ), Márcia Menezes (Laboratório de Microbiologia Industrial), Alexandre e Camilo (Laboratório de Experimentação e Análises de Alimentos – LEAAL – Departamento de Nutrição), Elias (Central Analítica do Departamento de Química Fundamental – DQF/UFPE), sem eles não teria sido possível a realização deste trabalho, meu muito obrigado!

Aos grandes amigos: Bernadete Silva, Márcia Bezerra, Teresa Cristina (Madrinha), Rosinete Santos (Madrinha), Dona Lourdes e Adeildo Paraíso, que sempre tão próximo não deixaram faltar o ânimo nas horas mais difíceis.

Ao CNPq e a CAPES, pelo auxílio financeiro.

RESUMO

A Jaca é uma fruta que apresenta condições para exploração em escala comercial, pois atinge bons preços no mercado além de ser muito apreciada pelas suas características organolépticas e nutricionais. Para reduzir as perdas pós-colheita e diversificar o aproveitamento em escala industrial da Jaca dura, esta pesquisa teve como objetivos realizar a desidratação osmótica do gomo e endocarpo duro e o aproveitamento dos resíduos sólidos do fruto. Para o processo da desidratação osmótica (gomo e endocarpo duro) foi aplicado o Planejamento Fracionado 2^{7-2} , e um segundo planejamento fatorial 2^3 completo. Os resultados obtidos comprovaram a eficiência da utilização da desidratação osmótica como pré-tratamento na elaboração dos produtos com qualidades naturais e organolépticas. Visando o aproveitamento dos resíduos do fruto, elaborou-se uma farinha do endocarpo duro da fruta, com a finalidade de produzir biscoitos. Foi avaliada a aceitabilidade em vários aspectos sensoriais, do biscoito produzido, substituindo-se parcialmente a farinha de trigo pela farinha do endocarpo duro (ED). Foram elaboradas três formulações: B15 (15% da farinha do ED), B25 (25% da farinha do ED) e B50 (50% da farinha do ED). Para avaliação sensorial do produto elaborado utilizou-se a escala hedônica, com nove pontos (gostei extremamente a desgostei extremamente), para os testes dos atributos avaliou-se a aceitação global, o aroma, a cor, o sabor e a textura. Todas as análises sensoriais foram submetidas a avaliação de 50 julgadores não treinados. Com base nos resultados obtidos, constatou-se que a produção do biscoito surgiu, como uma nova alternativa de produtos com agregação de valores organolépticos. Torna-se bastante viável e econômica. Utilizou-se também o invólucro externo (casca) e o endocarpo duro (caroço) para preparar bioadsorventes, com a finalidade de adsorver metais pesados. Os bioadsorventes obtidos foram testados sem e com tratamento com ácido acético 10% (TAA). As caracterizações dos bioadsorventes foram realizadas através da Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR). Os resultados obtidos em todas as análises dos bioadsorventes (invólucro externo e endocarpo duro), que passaram pelo tratamento, apresentaram um aumento significativo dos volumes dos seus poros e consequentemente dos seus diâmetros. Constatou-se a viabilização dos adsorventes residuais da Jaca. Também foi aplicado o bioadsorvente do endocarpo duro com TAA, na adsorção do ferro (Fe) presente em soluções aquosas. O processo de adsorção se mostrou eficiente atingindo 99% de remoção do ferro, respaldando a utilização do bioadsorvente na adsorção de metais pesados.

Palavras-chave: Desidratação osmótica. Resíduos da jaca. Biscoitos. Bioadsorventes. Adsorção. Ferro.

ABSTRACT

Jaca is a fruit that has conditions for operation on a commercial scale, it has a value meaning the market, and is highly appreciated for its organoleptic and nutritional characteristics. To reduce post-harvest losses and diversify the use on an industrial scale hard jackfruit, it uses different dewatering processes such as pre-treatment for their subsequent conservation. Furthermore, the processed hard jackfruit produces a solid residual amount equal to or greater than the edible parts. The main objective of this research involved the study of dehydration midsole and hard endocarp of jackfruit via osmotic and use / recovery of residual solids from the fruit. For the process of osmotic dehydration for both constituents of jackfruit (gomo and hard cored) was applied Fractional Planning 2^{7-2} in a first approximation, and a second 2^3 factorial design complete a final step. The results proved the efficiency of the use of osmotic dehydration as pretreatment to prepare the products with natural and organoleptic qualities. It was then evaluated acceptability in various sensory aspects of biscuit produced by the partial replacement of wheat flour by flour hard core material (ED), with three B15 formulations (15% ED flour), B25 (25% of the ED flour) and B50 (50% ED flour). For the sensory analysis of these formulations, we used the hedonic scale with nine points (liked extremely extremely disliked). For the test of the attributes, the following were chosen: aroma, color, flavor, texture and overall acceptance. For the attitude test, we used the hedonic 5-point scale (certainly would buy certainly would not buy), and the preference test (order of preference). All sensory analysis were subjected to evaluation of 50 judges untrained. Based on the results obtained it was found that the production of biscuit emerged as a new and viable products with added organoleptic values. bioadsorventes were prepared from the outer envelope and hard endocarp (residues jackfruit) in order to remove heavy metals. The bioadsorventes, with and without treatment with 10% Acetic Acid (TAA). Characterizations of bioadsorventes was made by Scanning Electron Microscopy (SEM) and infrared spectroscopy with Fourier transform (FTIR). The results in all analyzes of bioadsorventes (outer shell and hard cored), who have gone through treatment, showed a significant increase in the volume of its pores and consequently of their diameters. The viability of the residual adsorbent Jaca was studied by applying the bioadsorventes treated in the adsorption of ferric iron present in aqueous solutions. The iron adsorption process was very efficient, reaching a removal of 99% iron, supporting thus the application of the bioadsorventes heavy metals removal in wastewater.

Keywords: Osmotic dehydration. Waste of jackfruit. Cookies. Adsorbents. Adsorption. Iron.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Jaca (<i>Artocarpus heterophyllus</i>).	24
Figura 2 -	Gomos (Bagos) da Jaca Dura	25
Figura 3 -	Mesa agitadora com controle termostático (<i>shaker</i>)	44
Figura 4 -	Fluxograma do processamento para obtenção do gomo e endocarpo duro osmoticamente desidratado.	44
Figura 5 -	Fluxograma do processamento da produção dos Biscoitos (B15, B25 e B50) da farinha do endocarpo duro da jaca em substituição parcial da farinha de trigo.	49
Figura 6 -	Fluxograma das Produções e Caracterizações dos Bioadsorventes (BIES, BIEC, BEDS e BEDC).	51
Figura 7 -	Fluxograma da adsorção do Fe ³⁺ /BEDC	53
Figura 8 -	Cinética da perda de água e da incorporação de açúcar no Gomo durante o tratamento osmótico em solução de glicose	64
Figura 9 -	Cinética da perda de água e da incorporação de açúcar no Endocarpo duro durante o tratamento osmótico em solução de glicose	64
Figura 10 -	Micrografias de varredura do BIES. a) com ampliação de 500 vezes; b) com ampliação de 800 vezes; c) com ampliação de 1200 vezes; d) com ampliação de 2000 vezes.	67
Figura 11 -	Micrografias de varredura do BIES com ampliação de 4000 vezes	68
Figura 12 -	Micrografias de varredura do BIEC. a) com ampliação de 500 vezes; b) com ampliação de 800 vezes; c) com ampliação de 1200 vezes; d) com ampliação de 4000 vezes.	69
Figura 13 -	Diâmetro do comprimento do BIE com Ampliação de 4000 vezes. a) Sem tratamento (BIES); b) Com tratamento com o ácido acético (BIEC).	70
Figura 14 -	Espectros de Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR)	71
Figura 15 -	Micrografias de varredura do BEDS. a) com ampliação de 500 vezes; b) com ampliação de 1200 vezes; c) com ampliação de 2000 vezes; d) com ampliação de 4000 vezes.	72
Figura 16 -	Micrografias de varredura do BEDC. a) Com ampliação de 500 vezes; b) Com ampliação de 800 vezes; c) Com ampliação de 1200 vezes; d) com ampliação de 2000 vezes.	73
Figura 17 -	Micrografias de varreduras do BEDC com ampliação de 4000 vezes.	74
Figura 18 -	Diâmetro de comprimento do BEDC com ampliação de 4000 vezes	74
Figura 19 -	Espectros de Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR) para BEDS e BEDC.	75

Figura 20 -	Gráfico da Curva de Calibração do Ferro III (Solução de Nitrato de ferro III (ICO) Nono hidratado – $[Fe(NO_3)_3 \cdot 9H_2O]$ a 20.000 mg/L)	77
Figura 21 -	Análise do efeito da massa do bioadsorvente sobre a adsorção do sistema Fe^{3+} /BEDC; $V = 25\text{ mL}$; $C_0 = 2\%$ (percentagem mássica); $T=23\pm1^\circ C$ e tempo máximo de contato 24 horas.	79
Figura 22 -	Curva da Isoterma de adsorção do Fe^{3+} /BEDC; $m = 1,0\text{ g}$; $V = 25\text{ mL}$; $C_0 = 5,0\text{ mg/L}$; $T= 23\pm1^\circ C$, tempo máximo de contato 24 horas.	79
Figura 23 -	Curva da Isoterma de adsorção do Fe^{3+} /BEDC; $m = 1,0\text{ g}$; $V = 25\text{ mL}$; $C_0 = 5,0\text{ mg/L}$; $T= 23\pm1^\circ C$, tempo máximo de contato 30 minutos.	80
Figura 24 -	Curva de Cinética de adsorção Fe^{3+} /BEDC na temperatura de $23\pm1^\circ C$ $m=1g$, por um período de 30 minutos.	81
Figura 25 -	Curva de Cinética de Equilíbrio de adsorção do Fe^{3+} pelo BEDC para as temperaturas de $30\pm1^\circ C$, $40\pm1^\circ C$ e $50\pm1^\circ C$, $V=25\text{ mL}$. $C_0=2\%$ e $m=1g$.	82
Figura 26 -	Modelagem da Cinética de adsorção de Fe^{3+} pelo endocarpo duro aplicando o modelo de pseudo-primeira ordem, sendo a temperatura de $30 \pm 1^\circ C$.	82
Figura 27 -	Ajuste do Modelo Cinético de pseudo-segunda ordem para apresentação dos resultados experimentais de adsorção Fe^{3+} pelo BEDC em função do tempo. Condições operacionais: $T=30\pm1^\circ C$, $V=25\text{ mL}$, $C_0=2\%$ (percentagem mássica) e $m=1\text{ g..}$	83
Figura 28 -	Ajuste do Modelo Cinético de Difusão Intraparticular para apresentação dos resultados experimentais de adsorção Fe^{3+} pelo BEDC em função do tempo. Condições operacionais: $T=30\pm1^\circ C$, $V=25\text{ mL}$, $C_0=2\%$ (percentagem mássica) e $m=1\text{ g.}$	83
Figura 29 -	Modelo de Isoterma de <i>Langmuir</i> aplicado para Adsorção do Fe^{3+} /BEDC, para as condições operacionais seguintes: $T=30^\circ C$, $V=25mL$ e tempo de 30 minutos.	85
Figura 30 -	Modelo de Isoterma de <i>Freundlich</i> aplicado para Adsorção do Fe^{3+} /BEDC, para as condições operacionais seguintes: $T=30^\circ C$, $V=25mL$ e tempo de 30 minutos.	86
Figura 31 -	Modelo de Isoterma de <i>Langmuir-Freundlich</i> aplicado para Adsorção do Fe^{3+} /BEDC, para as condições operacionais seguintes: $T=30^\circ C$, $V=25mL$ e tempo de 30 minutos.	86

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Planejamento Fracionado 2^{7-2} para a desidratação osmótica do gomo e do endocarpo duro da <i>Artocarpus integrifolia L. f.</i>	46
Tabela 2 -	Planejamento fatorial 2^3 completo, com 8 pontos fatoriais (níveis ± 1), 3 pontos centrais (nível 0) e 6 pontos axiais ($\pm \alpha$), para a desidratação osmótica do gomo e do endocarpo duroda <i>Artocarpus integrifolia L. f.</i>	47
Tabela 3 -	Composição dos Biscoitos para Formulações B15, B25 e B5 (100g)	50
Tabela 4 -	Resultados das PU, IS e IED da Desidratação osmótica do Gomo para o planejamento fracionado 2^{7-2}	55
Tabela 5 -	Estimativa dos efeitos para das variáveis independentes sobre as respostas PU, IS e IED no planejamento fracionário 2^{7-3} do gomo	56
Tabela 6 -	Resultados das variáveis PU, IS e IED da Desidratação osmótica do Endocarpo duro para o planejamento fracionário 2^{7-3}	57
Tabela 7 -	Estimativa dos efeitos das variáveis independentes sobre as respostas PU, IS e IED no planejamento fracionário 2^{7-3} do Endocarpo duro	57
Tabela 8 -	Resultados do planejamento fatorial 2^3 completo para a desidratação osmótica do gomo da jaca dura	59
Tabela 9 -	Estimativa dos efeitos das variáveis independentes sobre as respostas PU, IS e IED no planejamento fatorial 2^3 do gomo da jaca	60
Tabela 10 -	Resultados do planejamento fatorial 2^3 completo para a desidratação osmótica do endocarpo duro da <i>Artocarpus integrifolia L. f.</i>	61
Tabela 11 -	Estimativa dos efeitos das variáveis independentes sobre as respostas PU, IS e IED no planejamento fatorial completo 2^3 do endocarpo duro da <i>Artocarpus integrifolia L. f.</i>	61
Tabela 12 -	Resultados da Análise Físico-Química para o Gomo da Jaca ("In Natura" e Gomo processado)	62
Tabela 13 -	Resultados da Análise Físico-Química para o Endocarpo duro da Jaca ("In Natura" e Processado)	63
Tabela 14 -	Análises microbiológicas do Gomo ("in natura" e processado) da Jaca	63
Tabela 15 -	Análises microbiológicas do Endocarpo duro ("in natura" e processado) da Jaca	63
Tabela 16 -	Resultado da Análise Sensorial (Aceitação Global, Aroma, Cor, Sabor e Textura) para os Biscoitos B15, B25 e B50	65
Tabela 17 -	Análises Microbiológicas do Biscoito do endocarpo duro (B15)	66
Tabela 18 -	Resultados dos parâmetros analíticos da solução de Nitrato de ferro III (ICO) Nono hidratado	76

Tabela 19 -	Os Parâmetros dos Modelos Cinéticos da Adsorção	84
Tabela 20 -	Os Parâmetros do Equilíbrio de Adsorção	84

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

UFPE –	Universidade Federal de Pernambuco
DEQ –	Departamento de Engenharia Química
DQF –	Departamento de Química Fundamental
DN -	Departamento de Nutrição
LEAAL –	Laboratório de Experimentação e Análise de Alimentos
LEAQ –	Laboratório de Engenharia ambiental e da qualidade
L	Laboratório de Microbiologia Industrial
IED -	Índice de eficiência da desidratação
IS -	Incorporação de sólidos
PU –	Perda de umidade
PA -	Perda de água
DO -	Desidratação osmótica
Brix -	Teor de sólidos solúvel
ANOVA –	Análise de variância
AVISA –	Agência de Nacional de Vigilância Sanitária
SQ –	Soma quadrática
GL –	Grau de liberdade
MG –	Média Quadrática
ACP –	Análise componente principal
CP1 –	Componente principal 1
CP2 -	Componente principal 2
GE –	Gostei extremamente
GM –	Gostei muito
GL –	Gostei ligeiramente
GR –	Gostei raramente
NGND -	Nem gostei, nem desgostei
DE –	Desgostei extremamente
DM –	Desgostei muito
DL –	Desgostei ligeiramente
DR –	Desgostei raramente
DE –	Desgostei extremamente
CC –	Certamente compraria
PC –	Provavelmente compraria
TCTNC –	Talvez compraria, talvez não compraria
PNC –	Provavelmente não compraria
CNC –	Certamente não compraria
BIE –	Bioadsorvente Invólucro Externo

BIES –	Bioadsorvente Invólucro Externo sem tratamento
BIEC –	Bioadsorvente Invólucro Externo com tratamento
BED –	Bioadsorvente do Endocarpo duro
BEDS -	Bioadsorvente do Endocarpo duro sem tratamento
BEDC -	Bioadsorvente do Endocarpo duro com tratamento
MEV -	Micrografias Eletrônicas de Varreduras
FTIR -	Espectrometria no Infravermelho com transformada de <i>Fourier</i>
Vis –	Visível

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	20
1.1	OBJETIVOS	23
1.1.1	Objetos Geral	23
1.1.2	Objetivos Específicos	23
2	REVISÃO DA LITERATURA	24
2.1	FRUTA COMO MATÉRIA PRIMA	24
2.1.1	Gomo da jaca	25
2.1.2	Endocarpo duro da jaca	25
2.2	CONSERVAÇÕES DE ALIMENTOS	26
2.3	DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA (FRUTAS E HORTALIÇAS)	26
2.3.1	Fundamentos	27
2.3.2	Variáveis do processo da desidratação osmótica	27
2.3.2.1	Tipo de agente osmótico	27
2.3.2.2	Temperatura	29
2.3.2.3	Tempo do processo	29
2.3.2.4	Concentração da solução osmótica	29
2.3.2.5	Agitação	30
2.3.2.6	Permeabilidade do tecido	30
2.3.2.7	Dimensões dos pedaços de frutas	31
2.3.3	Sistema de Processamento em Desidratação Osmótica	31
2.3.4	Reaproveitamento das Soluções Osmóticas	31
2.3.5	Tecido Vegetal	32
2.3.6	Parâmetros de Qualidade	32
2.3.6.1	Conteúdo Microbiológico	32
2.4	BISCOITO PRODUZIDO A PARTIR DE RESÍDUOS SÓLIDOS	33
2.4.1	Utilização de resíduos sólidos como matéria prima	33
2.4.2	Avaliação do Teste Afetivo, Teste de Atitude e Teste de ordenação	34
2.5	CARACTERIZAÇÕES DOS ADSORVENTES	37
2.5.1	Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR)	37
2.5.2	Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	37
2.6	ADSORÇÃO	38
2.6.1	Adsorção em fase aquosa	38
2.6.2	Modelagem matemática	39
2.6.2.1	Cinética de adsorção	39
2.6.2.2	Isotermas de adsorção	41
3	MATERIAIS E MÉTODOS	43
3.1	DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA DO GOMO E ENDOCARPOS Duros DA JACA DURA <i>ARTOCARPUS INTEGRIFOLIA L. F.</i>	43
3.1.1	Planejamentos Experimentais para a Desidratação osmótica do gomo e do endocarpo duro	44
3.1.2	Análise Física – Química dos produtos desidratados osmoticamente	47
3.1.3	Análises Químicas dos produtos desidratados osmoticamente	47

3.1.4	Análise Microbiológica dos produtos desidratados osmoticamente	48
3.1.5	Análise Estatística dos produtos desidratados osmoticamente	48
3.2	BISCOITOS FORMULADOS COM A FARINHA DO ENDOCARPO DURO DA JACA (<i>ARTOCARPUS INTEGRIFOLIA L. F.</i>)	48
3.2.1	Produção da Farinha do Endocarpo duro da Jaca	49
3.2.2	Produções dos Biscoitos a partir da substituição parcial da farinha de trigo pela farinha do endocarpo duro da Jaca	49
3.2.3	Analise sensorial dos biscoitos dos endocarpos duros da jaca	50
3.2.4	Análises microbiológicas dos biscoitos dos endocarpos duros da jaca	50
3.2.5	Análise estatística dos biscoitos dos endocarpos duros da jaca	51
3.3	CARACTERIZAÇÕES DOS RESÍDUOS SÓLIDOS DOS INVÓLUCROS EXTERNOS E ENDOCARPOS Duros DA JACA (<i>ARTOCARPUS INTEGRIFOLIA L. F.</i>)	51
3.3.1	<i>Preparação dos Invólucros externos e dos Endocarpos duros da jaca com (BIEC e BEDC) e sem tratamento (BIES e BEDS)</i>	52
3.3.2	<i>Análises da Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)</i>	52
3.3.3	<i>Análises de Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR)</i>	52
3.4	ADSORÇÃO DO ÍON FE ³⁺ (METAL PESADO) COM O BIOADSORVENTE DO ENDOCARPO DURO	53
3.4.1	Validação da solução de Nitrato de ferro III Nonahidratado	53
3.4.2	Aplicação do bioadsorventes do endocarpo duro da Jaca	54
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	55
4.1	DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA DO ENDOCARPO DURO DA JACA	55
4.1.1	Desidratação osmótica do gomo do endocarpo duro da <i>Artocarpus integrifolia L. F.</i> , para o planejamento fracionado 2 ⁷⁻² (32 ensaios)	55
4.1.2	Desidratação osmótica do gomo do endocarpo duro da <i>Artocarpus integrifolia L. f.</i> , para o planejamento fatorial completo 2 ³ (17 ensaios)	58
4.1.3	Análise Físico – Química e Química	62
4.1.4	Análises Microbiológicas	63
4.1.5	Cinética do melhor processo do gomo e endocarpo duro	64
4.2	AVALIAÇÃO MULTIVARIADA DA ACEITABILIDADE DE BISCOITO FORMULADA COM A FARINHA DO ENDOCARPO DURO DA <i>ARTOCARPUS INTEGRIFOLIA L. F.</i>	65

4.3	CARACTERIZAÇÕES DOS RESÍDUOS SÓLIDOS (INVÓLUCRO EXTERNO E ENDOCARPO DURO) DA <i>ARTOCARPUS INTEGRIFOLIA L. F.</i>	66
4.3.1	Invólucro externo da <i>Artocarpus integrifolia L. f.</i>	66
4.3.1.1	Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) do BIES	66
4.3.1.2	Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) do BIEC	68
4.3.1.3	Diâmetro do comprimento do BIES e BIEC	69
4.3.1.4	Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier (<i>FTIR</i>) para o BIES e BIEC	70
4.3.2	Endocarpo duro da <i>Artocarpus integrifolia L. f.</i>	71
4.3.2.1	Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) do BEDS	72
4.3.2.2	Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) do BEDC	72
4.3.2.3	Diâmetro de comprimento do BEDS e BEDC com ampliação de 4000 vezes	74
4.3.2.4	Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier (<i>FTIR</i>) para BEDS e BEDC	75
4.4	APLICAÇÃO DO ENDOCARPO DURO NA ADSORÇÃO DE METAL PESADO Fe^{3+}	76
4.4.1	Solução de Nitrato de ferro III (ICO) Nona hidratado	76
4.4.1.1	Parâmetros avaliados	76
4.4.1.1.1	Análise da linearidade	77
4.4.1.1.2	Análise de precisão	77
4.4.1.1.3	Limite de Quantificação e Limite de Detecção	78
4.4.2	Aplicação do endocarpo duro da <i>Artocarpus integrifolia L. f.</i> com TAA na adsorção de Fe^{3+}	78
4.4.2.1	Efeito da massa do bioadsorvente	78
4.4.2.2	Efeito do tempo operacional	79
4.4.2.3	Cinética de adsorção Fe^{3+} /BEDC	80
4.4.2.3.1	Efeito da Temperatura sobre a Cinética de Adsorção	81
4.4.2.3.2	Modelagem da Cinética de adsorção	82
4.4.2.3.3	Modelagem de Equilíbrio de adsorção	84
5	CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS	87
5.1	DESIDRATAÇÕES OSMÓTICAS DO GOMO E ENDOCARPO DURO DA JACA	87
5.2	PRODUÇÕES DA FARINHA E BISCOITOS DO ENDOCARPO DURO DA JACA	88
5.3	PRODUÇÕES DOS BIOADSORVENTES DOS RESÍDUOS SÓLIDOS INVÓLUCROS EXTERNOS E ENDOCARPOS DUROS DA JACA	83
5.4	APLICAÇÃO DO BIOADSORVENTE DO ENDOCARPO DURO NA ADSORÇÃO DE METAL PESADO FE^{3+}	88
5.5	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	89
	REFERÊNCIAS	90
	APÊNDICE A - CINÉTICA DO TEMPO X ABSORBÂNCIAS	103
	APÊNDICE B – ISOTERMAS	105
	ANEXO 1 - TESTE AFETIVO (ATRIBUTOS: ACEITAÇÃO GLOBAL, AROMA, COR, SABOR E TEXTURA)	106

**ANEXO 2 - TESTE DE ATITUDE (INTENÇÃO DE 107
COMPRA) E TESTE DE ORDENAÇÃO (PREFERÊNCIA)**

1 INTRODUÇÃO

A *Artocarpus heterophyllus* conhecida popularmente como jaqueira é uma planta originária da Ásia, tendo como principal utilização seus frutos (jaca - *Artocarpus integrifolia L. f.*) e sua madeira. Existem dois tipos de jaca: a dura, que produz frutos maiores, e a mole, em geral mais doces. É uma fruta muito energética (SEAGRI, 2016). O endocarpo duro, um subproduto desta agroindústria pode ser consumido cozido, torrado em forno ou assado na brasa (SILVA et al., 2007).

A jaqueira é uma árvore que pode atingir até 20 metros de altura, umbela mais ou menos piramidal, densa e frondosa, tronco robusto com folhas verde-escuras e brilhantes, flores de sexo separado. O fruto apresenta uma forma ovulada, irregular, com invólucro externo grosso e áspero com pequenas saliências, verde ou amarelada. Nascem diretamente do tronco e dos galhos mais grossos e chegam a pesar até 15 kg e medir até 40 cm. É um sincarpo, ou seja, infrutescência produzida pela fusão dos frutos formados pelos ovários de flores vizinhas. É cultivada em toda região Amazônica e toda a costa tropical brasileira, do Pará ao Rio de Janeiro, sendo que a frutificação pode ocorrer durante o ano todo (SILVA et al., 2007; SEAGRI, 2016).

O Brasil é um grande produtor de frutas e hortaliças, mas possui uma perda pós-colheita maior que 30%. Várias técnicas de preservação vêm sendo pesquisadas, a secagem é o mais antigo, estando em evidência à desidratação osmótica, processo este que apresenta ser viável para reverter estas perdas, e manter as características nutricionais e organolépticas das frutas e hortaliças (PARK, 2006) e viabilizar o aproveitamento racional (AHMED, QAZI e JAMAL, 2016). Estima-se que, nas áreas tropicais e subtropicais, as perdas pós-colheitas de frutas e hortaliças oscilem entre 15% a 50%, principalmente por manuseio e preservação inadequadas (AHMED, QAZI e JAMAL, 2016).

O Paradigma da auto-sustentabilidade das propriedades agrícolas enfoca, na agricultura do novo milênio, a otimização do processo de produção.

Problemas como a produção sazonal, colheita, transporte e armazenamento são comuns (CHOUDHURY, 2001; SIMPSON *et al.*, 2015).

As frutas e hortaliças assumem grande importância no fornecimento de nutrientes essenciais à alimentação humana. São fontes indispensáveis de vitaminas e minerais, além de fornecerem fibras (ITO *et al.*, 2007).

Diversos autores (CORRÊA *et al.*, 2007) têm apontado o uso de misturas de solutos como um método vantajoso, que permite a obtenção de altos níveis de perda de água, com uma pequena incorporação de solutos.

Aumenta o número de pesquisa na área de produção de farinha alternativa e produtos derivados de frutas e hortaliças. Com a ideia de se amassar grãos entre duas pedras, misturando água na massa dos grãos e secá-la ao fogo. Surgiu assim na Antiguidade, o biscoito, tornando-a uma pasta de baixa umidade e textura resecada (KOPPER *et al.*, 2009; BARTKIENE *et al.*, 2016 SIMABESP, 2016).

O processo de fabricação em seu início era bastante simples. Submetia o pão e removia o excesso de umidade através de um duplo cozimento, e conservado em uma câmara isenta de umidade, durante vinte e quatro horas (PASQUALONE *et al.*, 2015; NESTLÉ, 2016; BARTKIENE *et al.*, 2016).

Para a ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária), em sua Resolução nº 263, de 22 de setembro de 2005, a definição de “biscoitos ou bolachas são os produtos obtidos pela mistura de farinha(s), amido(s) e/ou fécula(s) com outros ingredientes, submetidos a processos de amassamento e cocção, fermentados ou não. Podem apresentar cobertura, recheio, formato e textura diversos” (BRASIL, 2015).

A utilização de farinhas compostas na panificação e confeitoraria não é nova. A indústria já viabilizou várias técnicas econômica do uso de farinhas compostas em alimentos. Entre essas diversas técnicas encontra-se a secagem de resíduos, em substituição parcial à farinha de trigo, na busca da agregação de

nutrientes alimentares é utilizado em diferentes alimentos (MATIAS *et al.*, 2005; PASQUALONE *et al.*, 2015).

Na proposta de utilização do resíduo sólidos (Invólucro externo e endocarpo duro) provenientes da desidratação osmótica da jaca dura como bioadsorvente de metal pesado.

Na caracterização de bioadsorvente a análise de microscopia eletrônica de varredura (MEV) e infravermelha (FTIR) é de fundamental importância, pois revela a dimensão dos polos. As vantagens do uso de agro resíduo como adsorventes são: baixo custo, levando-se em conta que muitos desses materiais são resíduos abundantes e até mesmo inconvenientes para os locais onde são gerados, possibilidade de recuperação do adsorvato, possibilidade de regeneração do adsorvente e eficiência (SILVERSTEIN, WEBSTER e KIEMLE, 2010; SILVA-JUNIOR *et al.*, 2013; AHMAD *et al.*, 2015; JOHARI *et al.*, 2016).

Atualmente, um dos problemas mais sérios que afetam o meio ambiente é a poluição química de natureza orgânica ou inorgânica, decorrente dos despejos residenciais e industriais. Define-se como poluição, qualquer alteração física, química ou biológica que produza modificação no ciclo biológico normal, interferindo na composição da fauna e da flora do meio. A poluição aquática, uma das mais sérias, provoca mudanças nas características físicas, químicas e biológicas das águas, as quais interferem na sua qualidade, impossibilitando o seu uso para o consumo humano (SILVA e AMARAL, 2006; DUAVÍ *et al.*, 2015; AHMAD *et al.*, 2015; JOHARI *et al.*, 2016).

A análise por componente principal (ACP) é um método de reconhecimento de padrão supervisionado, baseado no princípio da analogia entre as amostras que pertencem à mesma categoria ou classe e utiliza as pontuações determinadas pela ACP para calcular o distâncias entre os objetos (YUMIRKA, COMESAÑA e GARCÍA, 2009).

1.1 OBJETIVOS

O objetivo desta pesquisa é observar e constatar a fruta Jaca, como produto de uma desidratação osmótica, utilizando também todo o seu resíduos produzido durante o processo de bancada.

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral foi avaliar o processo da desidratação osmótica do gomo e do endocarpo duro da jaca e o aproveitamento dos resíduos sólidos.

1.1.2 Objetivo Específicos

Os objetivos específicos envolvem os itens seguintes:

- Analisar o processamento da desidratação osmótica do gomo e do endocarpo duro da jaca, através de dois planejamentos fatoriais;
- Avaliar as qualidades nutricionais, microbiológicas e análises físico-químicas dos produtos (gomo e endocarpo duro) antes e após a desidratação;
- Produzir farinha com endocarpo duro e avaliar as qualidades nutricionais; Produzir biscoito a partir da farinha do endocarpo duro e avaliar as qualidades nutricionais, microbiológicas e a aceitabilidade;
- Produzir novos bioadsorventes (endocarpo duro) e caracterizar os produtos.
- Avaliar o bioadsorvente na adsorção de metal pesado (Fe^{3+}).

2 REVISÃO DA LITERATURA

É a fundamentação de todos os processos envolvidos nesta pesquisa. Uma revisão na literatura dos últimos anos.

2.1 FRUTA COMO MATÉRIA PRIMA

A jaqueira (*Artocarpus heterophyllus*) é uma árvore tropical cujo fruto é conhecido como jaca. A árvore é originária da Índia e cultivada em todos os países tropicais do mundo. No Brasil e em grande parte da América tropical ocorre a incidência da *Artocarpus interglifolia*, a jaqueira (SEAGRI, 2016).

A Parte comestível da jaca (Figura 1) são os frutículos encontrados no interior dos grandes sincarpos, em grande número, ultrapassando a centena. Estes nada mais são do que o desenvolvimento dos ovários das flores, constituindo os “bagos”, de cor amarelada, envoltos por uma camada grudenta, sabor doce e cheiro forte e característico, reconhecível a longa distância. Os bagos podem ser de consistência um pouco endurecida ou totalmente mole, daí a distinção de duas variedades muito conhecidas e denominadas popularmente de “jaca-mole” e “jaca-dura” (SEAGRI,2016).

Figura 1 - Jaca (*Artocarpus heterophyllus*)



Fonte: SEAGRI, 2016.

2.1.1 Gomo da jaca

A Parte comestível da jaca são os frutículos encontrados no interior dos grandes sincarpos. O interior do fruto é formado por vários gomos, sendo que cada gomo (Figura 2) contém um grande caroço recoberto por uma polpa cremosa e branca, suculenta, viscosa e cheiro forte e característico, muito aromática. Os gomos podem ser de consistência um pouco endurecida ou mole, que é rica em carboidratos, minerais, como cálcio, fósforo, iodo, cobre e ferro. Contém vitaminas A, C e do complexo B (SEAGRI, 2016). A composição do gomo (Figura 2), por 100 gramas, corresponde a 84% de água; carboidratos 18,9 g; proteína 1,9 g; gordura 0,1 g; fibra 1,1 g; cálcio 20 mg; fósforo 30 mg; ferro 0,5 mg; Vitamina A 540 U. I.; tiamina 30 U. I. (TACO, 2011).

Figura 2 - Gomos (Bagos) da Jaca – Dura



Fonte: SEAGRI. 2016

2.1.2 Endocarpo duro da jaca

Os endocarpos duros são comestíveis, seu gosto lembra o das castanhas, consideradas, ligeiramente, afrodisíacas. A maior qualidade medicinal desta fruta saborosa é a de combater a tosse de qualquer natureza. Seus endocarpos duros agem contra a prisão de ventre. O leite da jaca é empregado nos casos de irritação dos olhos em geral. A composição do endocarpo duro contém 6,6% de proteínas e 25,8% de carboidratos (TACO, 2011).

Segundo Silva *et al.* (2008), a análise da composição centesimal mostrou que a semente de jaca (*Artocarpus heterophyllus*) apresenta um grande potencial para uso como matéria-prima amilácea, tendo em vista a grande quantidade de amido presente. As sementes da jaca necessitam de tratamento térmico em baixas temperaturas antes da extração, apresentando resultados satisfatórios em relação ao rendimento e baixa concentração de material

secundário. Fazem-se necessários estudos aprofundados de suas propriedades físico-químicas para sua possível aplicação. Composição centesimal está dentro do exigido pela Legislação Brasileira, apresentando valores de umidade, cinzas, lipídios, amido e açúcares redutores, respectivamente, iguais a 5,45; 0,12; 0,35; 94,55 e 76,8% (SILVA *et al.*, 2008).

2.2 CONSERVAÇÃO DE ALIMENTOS

As tecnologias utilizadas na conservação dos alimentos consistem, atualmente, na aplicação de alguns princípios físicos ou químicos tais como: uso de altas e baixas temperaturas, eliminação de água, adição de substâncias químicas, aplicação de radiações e filtração. Resultam desses processos, transformações físico-químicas capazes de prolongar a vida do alimento.

Em alguns processos tecnológicos aplicados à conservação de alimentos torna-se necessário fazer uso do branqueamento. Este consiste na imersão do alimento em água quente (ebulição) ou submetê-lo ao vapor. O branqueamento a vapor é o mais indicado, pois causa menores perdas de vitaminas e de sólidos solúveis (BRANDÃO *et al.*, 2003). Este processo tem como principais finalidades: promover a desinfecção superficial do produto, reduzindo o número de microrganismos; inativar enzimas; fazer com que a consistência fique firme; fixar cor, sabor e aroma das hortaliças; eliminar o ar contido nos tecidos, evitando-se ou reduzindo-se a ocorrência de oxidação e promovendo amaciamento de tecidos vegetais, facilitando o envase, auxiliando, assim, a etapa de exaustão (retirada do ar do produto e do espaço livre das embalagens, antes do fechamento), como também altera o comprimento de onda da luz refletida no produto, como ocorre em ervilhas, que adquirem uma cor verde mais brilhante (ATARÉS *et al.*, 2008; PANI *et al.*, 2008; DEROSSI *et al.*, 2008; EGEA e LOBATO, 2014).

2.3 DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA (FRUTAS E HORTALIÇAS)

A desidratação osmótica foi o processo escolhido para a secagem parcial do fruto da Jaca.

2.3.1 Fundamentos

A desidratação osmótica é um processo de desidratação por imersão do alimento (frutas e hortaliças) em solução supersaturada do soluto, resultando na remoção de 40 a 70% de água. Em consequência dos gradientes de concentração, ocorrem dois fluxos principais, em contracorrente: fluxo de água da fruta para a solução, e de soluto no sentido oposto (ESCOBAR *et al.*, 2007).

O Pré-tratamento osmótico pode melhorar aspectos nutricionais, sensoriais e funcionais dos alimentos, sem mudar sua integridade, sendo efetivo mesmo à temperatura ambiente, de maneira que o dano térmico à textura, cor e aroma do alimento é minimizado (ATARÉS *et al.*, 2008; PANI *et al.*, 2008; EGEA e LOBATO, 2014).

Silva-Júnior (2009) constatou que o processo de desidratação osmótica aplicada à goiaba permitiu a obtenção de um produto com satisfatória aceitabilidade e estabilidade. O processo utilizado constitui, portanto, uma boa alternativa para conservar a goiaba e diversificar a sua oferta.

2.3.2 Variáveis do processo da desidratação osmótica

A eficiência do mecanismo de transporte osmótico é dependente de vários parâmetros como o gradiente de concentração, resistência à transferência de massa, área de troca de massa e a temperatura do processo (ATARÉS *et al.*, 2008; PANI *et al.*, 2008; EGEA e LOBATO, 2014).

2.3.2.1 Tipo de agente osmótico

A sacarose é considerada o melhor agente desidratante, principalmente, quando a desidratação é utilizada como pré-tratamento para a secagem. Sua presença na superfície do material representa um obstáculo ao contato com o oxigênio, resultando em uma redução do escurecimento enzimático (DEROSSI *et al.*, 2008; LOMBARD *et al.*, 2008; PEIRÓ-MENA *et al.*, 2008).

O Cloreto de Sódio também é considerado um ótimo agente desidratante, por apresentar uma alta capacidade de redução da atividade de água, fazendo com que a força motriz de saída de água do produto seja maior (CORRÊA *et al.*, 2008). No entanto, os produtos tratados com este soluto, normalmente,

apresentam elevada incorporação de sólidos (IS), decorrente de seu baixo peso molecular, o que torna seu uso limitado a alguns frutos e vegetais, devido ao sabor salgado que ele confere (CORRÊA *et al.*, 2008).

Na desidratação osmótica da goiaba (*Psidium guajava L.*) com uso de xarope de sacarose, Silva-Júnior (2009) constatou que apenas a perda de umidade sofreu influência de todas as variáveis independentes (temperatura, concentração da solução osmótica e tempo de imersão). Quanto à incorporação de sólido houve efeito apenas da temperatura, ressaltando que o índice de eficiência da desidratação (IED) não teve influência de nenhuma das variáveis. O ensaio com xarope de glicose, processado com 34°C, 56 °Brix e 210 minutos foram o escolhido, sensorialmente, e apresentou conformidade com os padrões microbiológicos em vigor.

O uso de solutos de alto peso molecular favorece a perda de água e reduz a incorporação de sólidos, promovendo, em consequência, maior perda de peso do material; no entanto, os açúcares de baixo peso molecular, especialmente os monossacarídeos, têm sua incorporação favorecida devido à alta velocidade de penetração de suas moléculas (ATARÉS *et al.*, 2009; SILVA-JUNIOR *et al.*, 2012).

Baseados no fato de que frutas tratadas com xarope de frutose atingiram menor atividade de água que as tratadas com solução de sacarose de concentração idêntica, Souza *et al.* (2007) afirmaram que os efeitos de diferentes agentes osmóticos sobre a atividade de água independem da concentração dos mesmos. Estes resultados foram confirmados por Lombard *et al.* (2008), em pesquisas com frutas que perderam mais água em presença de monossacarídeos que dissacarídeo.

Devem ainda ser consideradas as mudanças do valor nutritivo e das propriedades organolépticas do produto final, como indicadores básicos para avaliações de cada substância osmótica, levando em conta também o custo do processo (LOMBARD *et al.*, 2008; ATARÉS *et al.*, 2008; PANI *et al.*, 2008; SILVA-JUNIOR, *et al.*, 2011; SILVA-JUNIOR *et al.*, 2012; EGEA e LOBATO, 2014).

2.3.2.2 Temperatura

A temperatura exerce um efeito importante sobre a cinética da desidratação osmótica, afetando-a diretamente. Altas temperaturas diminuem a viscosidade da solução osmótica, aumentando assim o coeficiente de difusão de água (KOWALSKA *et al.*, 2008).

De acordo com Castelló *et al.* (2009), a taxa de osmose aumenta em função do aumento na temperatura, esta, entretanto, quando superior a 49°C, favorece o escurecimento e a alteração do sabor (MARTINZ *et al.*, 2007; KOWALSKA *et al.*, 2008).

A aceleração da perda de água sem modificação da incorporação de açúcar, pela elevação da temperatura, foi referida por diversos autores (CASTELLÓ *et al.* 2009; PANARES *et al.*, 2008; ATARÉS *et al.*, 2009).

2.3.2.3 Tempo do processo

Um parâmetro importante com uma influência decisiva no tempo de desidratação é a temperatura do processo (PANARES *et al.*, 2008; ATARÉS *et al.*, 2009).

Diversos autores referem à existência de uma relação direta do tempo de tratamento osmótico com a redução em peso do material (PANARES *et al.*, 2008).

2.3.2.4 Concentração da solução osmótica

A troca de massa é favorecida pelo uso de altas concentrações da solução osmótica, especialmente no que concerne à perda de água (PANARES *et al.*, 2008). Esta premissa foi confirmada por Falade e Igbeka (2007) ao constatarem que frutas, tratadas no início da desidratação com soluções de sacarose mais concentradas, apresentam um menor teor de umidade em relação às tratadas com soluções menos concentradas. O uso de xarope muito concentrado pode também reduzir a perda de solutos hidrossolúveis, como o ácido ascórbico (CHANGRUE *et al.*, 2008), devido à criação de soluto concentrado na periferia da camada, que previne a saída do mesmo e evitaria a descoloração do fruto (CHANGRUE *et al.*, 2008).

Fernandes *et al.* (2006) ao desidratarem mamão osmoticamente verificaram que o aumento da concentração (30, 40, 50 e 72°Brix) não teve efeito significativo sobre a incorporação de sólidos. Este comportamento, no entanto, não foi observado por Gonçalves e Blume (2008), quando desidrataram osmoticamente abacaxi. Durante o processo, os pesquisadores evidenciaram que o aumento na concentração inicial da solução de sacarose não só promoveu aumento na taxa de perda de umidade, como também favoreceu a taxa de incorporação de açúcar (GONÇALVES e BLUME, 2008; GERMER *et al.*, 2008; GERMER *et al.*, 2011).

2.3.2.5 Agitação

Gonçalves e Blume (2008) e Germer et al (2011) demonstraram os efeitos positivos do aumento da concentração do agente osmótico no processo de desidratação. Entretanto, segundo Souza *et al.* (2007), à medida que se aumenta a concentração da solução osmótica, ocorre um aumento da viscosidade, que reduz a difusividade da solução, aumentando a necessidade de agitação como foi constatado por Atarés *et al.* (2009) que observaram uma taxa de desidratação osmótica maior quando o processo é conduzido sob agitação. Deve-se, contudo, levar em consideração o custo relacionado a essa agitação (equipamento, energia), além da possibilidade de rompimento da fruta (PANARES *et al.*, 2008).

2.3.2.6 Permeabilidade do tecido

No que diz respeito ao branqueamento, Atarés *et al.* (2009) verificaram que vegetais branqueados apresentaram melhor aparência, embora não tenha ocorrido efeito significativo na diminuição da atividade de água dos produtos em relação aos não branqueados. Em contrapartida, Panades *et al.* (2008) constataram maiores taxas de desidratação, melhor fixação de cor e maior vida útil no mamão branqueado, provavelmente devido à inativação de enzimas e à redução na carga microbiana inicial, bem como à redução do tempo de desidratação.

Coberturas de alginato e pectina de baixa metoxilação foram utilizadas na desidratação osmótica do abacaxi, tendo a sacarose como agente osmótico, cujos resultados indicaram que estas substâncias afetaram significativamente as

transferências de massa durante o processo, reduzindo a incorporação de sólidos e aumentando a perda de umidade (SOUZA *et al.*, 2007).

2.3.2.7 Dimensões dos pedaços de frutas

A transferência de massa também pode ser favorecida pela redução do tamanho da partícula da fruta, na qual a incorporação de sólidos é favorecida acima de certo nível (SOUZA *et al.*, 2007; PANADES *et al.*, 2009).

Krokida *et al.* (2000) avaliaram as propriedades de maçãs submetidas a diferentes métodos de secagem como vácuo, micro-ondas, congelamento, osmose, tudo comprovado que a cinética de secagem é grandemente afetada pelas características do tamanho das partículas. No caso específico da desidratação osmótica, foram registradas uma diminuição de porosidade do produto final e manutenção da cor.

2.3.3 Sistema de Processamento em Desidratação Osmótica

Segundo Egea e Lobato (2014), os sistemas de processamento de desidratação osmótica referem-se em sua maioria à sistemas em batelada em escala de laboratório; outros sistemas aplicáveis ao processo osmótico são o sistema semi-contínuo e o contínuo. Sanjinéz-Argandoña (2005) construíram um sistema contínuo para desidratação osmótica em escala piloto de cenoura em cubos, utilizando como solução desidratante mistura, de soluções de sacarose e sal em diferentes concentrações.

As vantagens destes sistemas com relação ao sistema em batelada concentram-se basicamente na redução de tempo de operação de processo e no reaproveitamento da solução desidratante, o que implica em menor custo de processo (EGEA e LOBATO, 2014).

2.3.4 Reaproveitamento das Soluções Osmóticas

Gomes *et al.* (2007), em estudo de viabilidade da desidratação osmótica para o desenvolvimento da agricultura familiar, reforça uma vantagem deste processo apontando baixo custo e reaproveitamento da solução osmótica para produção de aguardente ou vinagre.

2.3.5. Tecido vegetal

O tipo e variedade de fruta a ser processada e o soluto da solução desidratante influenciam na relação solução fruta. O reaproveitamento da solução osmótica é uma alternativa promissora, desde que controlados os parâmetros necessários para sua reutilização (EGEA *et al.*, 2012; EGEA e LOBATO, 2014). A solução pode ser, eventualmente, filtrada para excluir partículas (sementes, pedaços do material e outros), tratada termicamente para reduzir a contaminação microbiológica (exemplo pasteurização) e reconcentrada por evaporação ou adição de solutos (EGEA *et al.*, 2012; EGEA e LOBATO, 2014).

A minimização do volume de solução, a reconcentração e o reaproveitamento das soluções desidratantes são muito importantes para respostas a questões econômicas e de meio ambiente, pois o xarope descartado pode contaminar o meio, devido ao arraste de compostos orgânicos presentes. No entanto, o uso de menor relação solução: fruta exige um controle para manutenção da concentração da solução (EGEA e LOBATO, 2014).

Apesar de frequentemente sugeridos, poucos trabalhos têm sido realizados sobre o estudo das propriedades das soluções reconcentradas e reaproveitadas visando o aspecto da economia de energia no processo de desidratação osmótica (EGEA e LOBATO, 2014).

2.3.6. Parâmetros de Qualidade

A qualidade de um produto engloba propriedades sensoriais, valor nutritivo, constituintes químicos, propriedades mecânicas e funcionais (EGEA e LOBATO, 2014).

2.3.6.1. Conteúdo Microbiológico

A importância do aspecto microbiológico durante o reaproveitamento da solução desidratante no processo osmótico é fundamental para manter sob controle o nível de contaminação da solução e limitar o seu reuso. Nos últimos anos algumas pesquisas relacionadas com o potencial de crescimento

microbiano em produtos osmóticos desidratados foram publicadas (GOMES, CEREDA e VILPOUX, 2007).

A carga microbiana inicial da solução pode influenciar a contaminação dos produtos osmóticos desidratados e assim, sua vida de prateleira. O uso de altas concentrações (acima de 55°Brix) na desidratação osmótica possibilita a diminuição do crescimento microbiano. No entanto, sabe-se que certos microrganismos são particularmente tolerantes a altas concentrações de sacarose (osmofílicos) e sua presença pode causar numerosos problemas nos setores onde se manipulam grandes quantidades de açúcar, como é o caso do processamento osmótico com solução de açúcares (GOMES, CEREDA e VILPOUX, 2007).

2.4. BISCOITOS PRODUZIDOS A PARTIR DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Biscoito é um produto consumido internacionalmente por todas as classes sociais. Cada país, naturalmente por determinação do tipo de biscoito, que, tomadas em conjunto, formam externa seleção de formas, tamanhos, tipos e sabores (MORAES *et al.*, 2010). Embora não constitua um alimento básico como o pão, os biscoitos são aceitos e consumidos por pessoas de qualquer idade, principalmente, entre as crianças (SIMABESP, 2008).

Os Biscoitos têm sido formulados com fibras e proteínas com o objetivo de serem fontes de nutrientes, tendo maior consumo pelos consumidores que procuram qualidade na dieta. (FASOLIN *et al.*, 2007).

2.4 1. Utilização de resíduos sólidos como matéria prima

Várias pesquisas vêm sendo desenvolvidas com intuito de aproveitamento de resíduos sólidos produzidos no processamento de frutas e hortaliças (FEDDERN *et al.*, 2011; GUTKOSKI *et al.*, 2011). Com proposta de alteração na composição de farinha, busca de agregações nos valores nutritivos e organolépticos, essas farinhas foram utilizadas na produção de novos biscoitos, ou seja, em substituição parcial da farinha de trigo, em diferentes proporções.

2.4.2 Avaliação do Teste Afetivo, Teste de Atitude e Teste de ordenação

Visando o controle do processo, pode se utilizar a análise sensorial, uma ciência interdisciplinar na qual se convidam avaliadores, que se utilizam da complexa interação dos órgãos dos sentidos (visão, gosto, tato e audição) para medir as características sensoriais e a aceitabilidade dos produtos alimentícios e muitos outros materiais (TRONCO, 2008). Os métodos sensoriais são baseados nas respostas aos estímulos, que produzem sensações cujas dimensões são: intensidade, extensão, duração, qualidade e prazer ou desprazer. Enquanto os estímulos podem ser medidos por métodos físicos e químicos, as sensações são medidas por processos psicológicos (SCHNEIDER, 2006; LUTZ, 2008).

Segundo Lutz (2008) os testes com escalas indicam o tipo ou a intensidade de uma resposta sensorial. As escalas são classificadas em quatro classes: nominal, ordinal, intervalo e de proporção. A escala nominal especifica somente classes ou categorias, as quais não possuem nenhuma relação quantitativa entre si como, por exemplo, a escala de classificação da bebida de café. A escala ordinal especifica as categorias como uma série ordenada, porém sem expressar o tamanho da diferença entre elas, sendo utilizada nos testes de ordenação. A escala de intervalo assume igualdade de distância (intervalos) entre pontos (categorias) da escala e origem arbitrária. Estas escalas são ancoradas em vários pontos, geralmente nas extremidades e às vezes no meio da escala, com termos que indicam a magnitude da resposta. Costumam variar de 5 a 15 pontos (5-15) cm nas escalas não estruturadas.

Para Lutz (2008) são utilizadas nas avaliações de atributos específicos, nos testes de perfil de textura, na análise descritiva quantitativa (ADQ) e nos testes de preferência e aceitação (escala hedônica e de atitude). A escala hedônica é uma escala de intervalo que expressa o grau de gostar ou desgostar de uma amostra pelo consumidor. As escalas de intervalo se classificam em estruturada e não estruturada e em unipolar e bipolar. Na escala estruturada (numérica e/ou verbal) os intervalos são associados a números e/ou termos descritivos. Na escala não estruturada, linear ou gráfica, a linha é demarcada por expressões quantitativas nas extremidades ou distantes destas (0,5-1,25) cm.

Nos testes de escala, as amostras codificadas e aleatorizadas são apresentadas simultaneamente ou não ao julgador para que avalie o atributo específico utilizando uma escala pré-definida. Dependendo da escala utilizada, o tratamento dos dados pode ser obtido por consenso da equipe em cada atributo ou análise estatística pela análise de variância (ANOVA), análise multivariada (MANOVA) e análise de componentes principais (ACP).

Nos testes afetivos ou testes de aceitação por escala hedônica, o indivíduo expressa o grau de gostar ou de desgostar de um determinado produto, de forma globalizada ou em relação a um atributo específico. As escalas mais utilizadas são as de 7 e 9 pontos, que contêm os termos definidos situados, por exemplo, entre “gostei muitíssimo” e “desgostei muitíssimo” contendo um ponto intermediário com o termo “nem gostei; nem desgostei”. É importante que as escalas possuam número balanceado de categorias para gosto e desgosto. As amostras codificadas com algarismos de três dígitos e aleatorizadas são apresentadas ao julgador para avaliar o quanto gosta ou desgosta de cada uma delas através da escala previamente definida (LUTZ, 2008).

Lutz (2008) recomenda que o número de julgadores seja entre 50 e 100. O delineamento experimental a ser utilizado deve ser previamente escolhido, podendo-se optar pelo de blocos completos平衡ados ou aleatórios ou blocos incompletos aleatórios, conforme a situação.

O Teste discriminativo também chamado de teste de ordenação avalia três ou mais amostras, simultaneamente, ordenando-as em relação à intensidade de um atributo específico ou de sua preferência. Não quantifica o grau da diferença ou preferência entre amostras. Este teste pode ser aplicado para pré-seleção entre grande número de amostras. Uma série de três ou mais amostras codificadas aleatorizadas é apresentada ao julgador para que ordene em ordem crescente ou decrescente da intensidade do atributo específico ou mais preferido. Para o teste de preferência em laboratório, utilizam-se 30 ou mais julgadores e, para o teste de consumidor, 100 ou mais. As amostras devem ser apresentadas de forma balanceadas ou aleatórias (LUTZ, 2008).

No atributo aroma, o odor é perceptível pelo órgão olfativo quando certas substâncias voláteis são aspiradas e o aroma, via retronal, durante a degustação. O julgador deve aproximar a amostra da narina e dar cheiradas curtas, evitando longas inalações que cansem o olfato pela adaptação. O cansaço olfativo pode ser amenizado se for cheirada a pele do próprio pulso ou por outro aroma que neutralize o anterior. Nesta avaliação, podem-se fazer comparações com padrões de referência conhecidos, que serão identificados e descritos pelos seus odores ou aromas peculiares (LUTZ, 2008).

Segundo Lutz (2008) o atributo textura (oral e manual) refere-se às propriedades reológicas e estruturais (geométricas e de superfície) dos produtos. Geralmente é percebida por três ou quatro sentidos: os receptores mecânicos, táteis e, eventualmente, os visuais e auditivos. Relaciona-se com a sensibilidade térmica e sinestésica. A avaliação da textura é mais complexa nos alimentos sólidos, como nos ensaios de corte, compressão, relaxação, penetração, cisalhamento, dobramento, etc. O julgador deve utilizar a pele da mão, da face e/ou da boca (cavidade bucal e dentes). Quando avaliado pela boca pode ser definido como sensação bucal, utilizando-se também termos como: adstringente, metálico, quente, frio, etc. Algumas sensações são também nasais, como: pungente, refrescante, etc. Uma listagem de termos próprios pode ser utilizada para melhor definição das propriedades de textura.

Sabor é considerado como uma experiência mista, mas unitária de sensações olfativas, gustativas e tátteis percebidas durante a degustação. O sabor é percebido, principalmente, através dos sentidos do gosto e olfato, também influenciado pelos efeitos tátteis, térmicos, dolorosos e/ou sinestésicos. O julgador deve tomar certa quantidade da amostra, sem excessos, e proceder à deglutição, tomando o cuidado em evitar a fadiga sensorial. Entre uma amostra e outra é aconselhável lavagem da cavidade oral com água filtrada ou a neutralização do paladar ingerindo-se uma maçã, pão ou biscoito tipo *cream craker*. O julgador deve evitar sensações fortes de gostos pelo menos 30 minutos antes do teste, não deve apresentar nenhuma indisposição no organismo (LUTZ, 2008).

A análise sensorial é um campo muito importante na indústria de alimentos, pois contribui direta ou indiretamente para inúmeras atividades, como desenvolvimento de novos produtos, controle de qualidade, reformulação e redução de custos de produtos, relações entre condições de processo, ingredientes, e aspectos analíticos e sensoriais. Tais procedimentos são aplicados no desenvolvimento e melhoria de produtos, controle de qualidade, estudos sobre armazenamento e desenvolvimento de processos (PALUDO e COELHO, 2014).

2.5 CARACTERIZAÇÕES DOS ADSORVENTES

As técnicas de caracterização de sólidos porosos têm sido desde algumas décadas, uma ferramenta importante e disponível para pesquisadores de diversas áreas. Caracterizar o material é bastante importante em atividades como síntese e desenvolvimento de catalisadores entre outras. Na investigação de um sólido, a primeira etapa consiste em investigar a sua natureza, tais como são suas propriedades físicas superficiais e sua natureza química (VALLADARES, RODRÍGUEZ-REINOSO e ZGRABLICH, 1988).

2.5.1 Espectroscopia de Infravermelho por transformada de Fourier (FTIR)

A caracterização dos grupos funcionais superficiais na parte externa do sólido poroso está baseada nos mesmos fundamentos da análise funcional tradicional da química orgânica, portanto, cada grupo funcional está relacionado com uma ou vários picos característicos em determinado ou em determinados comprimentos de onda (SILVERSTEIN, WEBSTER e KIEMLE, 2010).

2.5.2. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

A microscopia eletrônica de varredura tem sido utilizada para examinar a topologia da superfície do sólido, morfologia das partículas e cristais; podendo relacionar as mudanças na estrutura do material poroso em relação ao precursor com os diferentes processos de ativação tanto químicos como físicos e de pirólise. Quando o microscópio eletrônico encontra-se acoplado com um espectrofotômetro de energia dispersiva, obtém-se um instrumento com a

capacidade de estudar estruturas a escala micrométrica, proporcionando como resultado um espectro com os elementos mais prováveis localizados na área observada.

2.6 ADSORÇÃO

O termo adsorção foi criado por Kayser no ano de 1881, para descrever o incremento na concentração de moléculas gasosas nas vizinhanças da superfície do sólido, um fenômeno previamente observado por Fontana e Scheele em (1777). Uma superfície limpa é caracterizada pelo fato de que nem todas as ligações dos átomos que compõem a superfície estão saturadas. Este fato causa a existência de um campo de adsorção sobre esta superfície. Este campo de adsorção causa a acumulação de moléculas na superfície do sólido (RAQUE-MALHERBE, 2007).

Portanto, denomina-se adsorção ao processo de acumulação de partículas (moléculas) sobre uma superfície; a sustância que é adsorvida é chamada de adsorvato e o material sobre o qual é adsorvida chama-se de adsorvente. A adsorção é produzida devido às forças de interação, divididas em duas classes: físicas e químicas, dando origem respectivamente à adsorção física ou fisissorção e à adsorção química ou quimissorção (CARBALLO, 2002).

2.6.1 Adsorção em fase aquosa

Na adsorção em fase aquosa são levados em conta os diferentes fatores que influenciam no processo de adsorção, tais como: as características do adsorvente, a textura superficial e a química superficial, as do adsorvato como tamanho molecular, hidrofobicidade, pKa, solubilidade, polaridade e, no caso de moléculas orgânicas, dos substituintes, da química da solução, pH, força iônica e a temperatura (MURILLO ACEVEDO, 2011).

É importante ressaltar que têm sido feitas várias pesquisas indagando sobre o processo de adsorção em materiais de carbono, os quais são relatados em vários artigos e livros que explicam as possíveis causas da adsorção de

Fenol na superfície desses materiais. Porém, não existe a mesma quantidade de informação na teoria da adsorção para as cinzas e para as fibras naturais, como é o caso do bagaço de cana brasileira. Portanto, as observações das causas e o fenômeno de adsorção para os materiais empregados foram relatadas e baseadas na teoria já existente e amplamente divulgada para os materiais de carbono.

2.6.2 Modelagem matemática

É fundamental e a escolha do possível tratamento matemático, que será utilizado na modelagem dos dados obtidos, durante todo o processo desta pesquisa.

2.6.2.1 Cinética de adsorção

Vários modelos foram estudados, para verificar qual é o mecanismo ou etapa limitante no nosso processo adsorptivo. Dentre os vários modelos cinéticos citados na literatura, os estudados neste trabalho foram Pseudo Primeira Ordem, Pseudo Segunda Ordem e Difusão Intrapartícula. A cinética de adsorção implica em determinar como varia a concentração do adsorvato em função do tempo, para uma quantidade fixa de adsorvato e adsorvente. É um estudo indispensável e sempre deve ser feito antes da determinação da isoterma de adsorção (EL NEMR, *et al.*, 2009; HO e MCKAY, 1998; QIU, *et al.*, 2009).

Modelo de Pseudo Primeira Ordem (Equação 1)

$$\text{Log}(q_e - q_t) = \text{Log} q_e - k_1 t / 2,303 \quad (1)$$

Sendo k_1 a constante de adsorção de Lagergren (min^{-1}),
 q_t e q_e são as quantidades de adsorvato adsorvido no tempo t e no equilíbrio respectivamente.

Este modelo está baseado na suposição que para cada molécula de adsorvato existe um sitio de adsorção no material adsorvente. A variação na

velocidade de adsorção deve ser proporcional à primeira potência da concentração para uma adsorção estritamente superficial. Porém, a relação entre a concentração inicial de soluto e a velocidade de adsorção não será linear quando a difusão nos poros é a etapa limitante da adsorção.

Modelo de Pseudo Segunda Ordem (Equação 2)

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e} \quad (2)$$

Sendo k_2 a constante de velocidade de pseudo segunda ordem ($\text{g} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{min}$), q_t e q_e são as quantidades de adsorvato adsorvido no tempo t e no equilíbrio, respectivamente.

Este modelo representa a quimissorção devida à formação de ligações químicas entre a superfície do adsorvente e o adsorvato em forma de monocamada, sendo apresentada esta quimissorção como a etapa determinante da adsorção envolvendo forças de Valência entre o adsorvato e o adsorvente.

Modelo Difusão Intrapartícula (Equação 3)

$$q_t = k_{dif} * t^{1/2} + C_{dif} \quad (3)$$

Sendo a constante C em $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ que providencia informação acerca da espessura da camada limite e, portanto, a resistência à transferência de massa externa é maior quanto o valor da constante C seja maior; e k_{dif} ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1/2}$) é a constante de velocidade de difusão intrapartícula.

As espécies do adsorvato são majoritariamente transportadas desde o volume (seio) da solução até o centro do sólido através de um processo de transporte difusivo intrapartícula o qual com freqüência é a etapa limitante em vários processos de adsorção.

Este modelo também é chamado de modelo de difusão de um sólido homogêneo, deduzido por Weber-Morris, aonde ele estabeleceu-se que a

adsorção do soluto varia quase que proporcionalmente com o $t^{1/2}$ do que com o tempo t.

2.6.2.2 Isotermas de adsorção

Na literatura sobre adsorção em fase gasosa e fase líquida têm sido reportados vários modelos matemáticos que podem representar o equilíbrio de adsorção à temperatura constante, estes modelos também são chamados de modelos de isotermas de adsorção; os mais mencionados na literatura são os modelos de Langmuir e Freundlich. O modelo de Langmuir (Equação 4) faz as seguintes suposições (DUONG, 1998; LIMOUSIN, et al., 2007):

1. Energias de adsorção uniformes na superfície do adsorvente,
2. Não existe interação entre as moléculas adsorvidas adjacentes,
3. A adsorção ocorre em lugares específicos.

$$q_e/q_s = K_L \cdot C_e / (1 + K_L \cdot C_e) \quad (4)$$

Sendo:

q_s (mg.g^{-1}) é a concentração adsorvida na fase sólida , em condições de saturação (mg.g^{-1}); K_L (L.mg^{-1}) é a constante de equilíbrio de adsorção e está relacionada com a energia aparente de adsorção.

No entanto, no caso do modelo de *Freundlich* (Equação 5) é suposto que 1. A superfície do adsorvente é energeticamente heterogênea e 2. Aumentando a concentração do adsorvato, aumenta a quantidade adsorvida na superfície do sólido. Portanto, o modelo de *Freundlich* pode ser derivado assumindo uma diminuição de tipo logarítmica na entalpia de adsorção quando existe um aumento na fração de sítios ocupados do adsorvente.

$$q_e = K_F \cdot C_e^{1/n} \quad (5)$$

Sendo:

K_F é a constante para o sistema, relacionada com a energia de ligação, podendo ser definido como o coeficiente de adsorção ou de distribuição e representa a quantidade de adsorvato adsorvido no adsorvente por unidade de concentração no equilíbrio. $1/n$ indica a intensidade da adsorção com a superfície heterogênea, sendo esse valor mais próximo do zero quanto mais heterogênea for à superfície. Outro modelo bastante utilizado e mencionado na literatura é o modelo de Temkin (Equação 6). Este modelo assume que a queda no calor de adsorção é linear invés de logarítmica, como foi postulado por *Freundlich* no seu modelo.

$$qe = RTb \ln(ACe) \quad (6)$$

Sendo que, a constante b está relacionada com o calor de adsorção e a constante A é uma constante específica às interações adsorvato-adsorvente. O modelo de *Temkin* com seu parâmetro b dá uma medida da interação do adsorvato com a superfície do material, já que está incluso nesse parâmetro o calor de adsorção β ($\beta = RT/b$), o qual é proporcional à interação, aproveitamento e cobertura do Adsorvato na superfície do sólido poroso.

Para todos os modelos termodinâmicos e cinéticos, os valores de qe são calculados assim (Equação 7):

$$qe = (Co - Cf) * V / m \quad (7)$$

Co é a concentração inicial e Cf é a concentração final (equilíbrio) do adsorvato na fase líquida ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$), V é o volume da solução (L) e m é a quantidade do adsorvente utilizado (g).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Estudos dos materiais e das metodologias utilizadas durante esta pesquisa.

3.1 DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA DO GOMO E ENDOCARPOS DUROS DA JACA DURA *ARTOCARPUS INTEGRIFOLIA L. F.*

A Jaca dura foi adquirida no Centro de Abastecimento Alimentar (CEASA-PE), na Região Metropolitana do Recife – PE, no estádio de maturação maduro com o °Brix 9 a 11, isentos de doenças.

A jaca dura foi lavada com água corrente e sabão líquido neutro, descascadas retiradas os gomos e separados do endocarro duro; Os gomos e os endocarpos duros foram selecionados de acordo com peso (130 a 140 gramas), tamanho, aparência (sadia) e grau de maturidade (°Brix 9 a 11). A desidratação osmótica foi realizada com o gomo e endocarro duro na forma inteira, ou seja, sem corte, e no corte longitudinal, ambos foram cortados ao meio; em seguida foram branqueados em vapor fluente (100°C/2min). Em seguida foram imersas em solução de pectina comercial durante 5 minutos, depois na solução de cloreto de cálcio para melhor fixação da cobertura; dando prosseguimento foram imersos em solução osmótica de sacarose e/ou glicose. O pH da solução osmótica foi ajustado entre 4 e 5 com ácido cítrico (*phmetro - ph meter model-phs-3*).

As soluções foram mantidas sob agitação constante no *shaker* de modelo Marconi (Figura 3) sob temperatura e tempo predeterminados (Tabela 1 e 2). A relação amostra/solução foi de 1:10 para garantir a concentração constante da solução osmótica.

Figura 3 - Mesa agitadora com controle termostático (shaker)



Fonte: O Autor

Após o processo, as amostras foram lavadas com água destilada, colocadas em papel absorvente, para retirar o excesso do xarope, e pesadas; em seguida foram acondicionadas em sacos de polietileno com capacidade para 300g e congeladas a 0°C (gomo e o endocarpo duro) (Figura 4).

Figura 4 - Fluxograma do processamento para obtenção do gomo e endocarpo duro osmoticamente desidratado.



Fonte: O Autor

3.1.1 Planejamentos Experimentais para a Desidratação osmótica do gomo e do endocarpo duro

Foi aplicado um Planejamento Fracionado 2^{7-2} para a desidratação osmótica do gomo e do endocarpo duro da *Artocarpus integrifolia L. f.* com sete variáveis independentes: Temperatura (30°C (-1) e 50°C(+1)), concentração osmótica (5%(-1) e 20%(+1)), agente osmótico (glicose(-1) e sacarose(+1)), corte (inteiro(-1) e longitudinal(+1)), Tempo de imersão (60(-1) e 240

minutos(+1)), Agitação (sem(-1) e com rotação(+1)) e cobertura (sem(-1) e com cobertura(+1)). A cobertura utilizada foi à pectina comercial (Tabela 1).

De acordo com os resultados obtidos acima foi realizado um planejamento factorial completo 2^3 , com três pontos centrais e 6 axiais, para o gomo e o endocarpo duro, totalizando em 17 ensaios, com três variáveis independentes: temperatura (T) (30, 40, 44, 46 e 50°C), concentração da solução osmótica (C) (40, 44, 50, 56 e 60 °Brix) e tempo de imersão (t) (90, 120, 165, 210 e 240 minutos) (Tabela 2). As variáveis dependentes foram: perda de umidade (PU %), incorporação de sólidos (IS%) e IED (índice de eficiência da desidratação), que foram calculados através das equações a seguir.

$$PU = \frac{\{(U_f \cdot m_f) - (U_i \cdot m_i)\}}{m_i} \quad (\text{equação 8})$$

$$IS (\%) = \frac{\{(^{\circ}\text{Brix}_f \cdot m_f) - (i \cdot m ^{\circ}\text{Brix}_i)\}}{m_i} \quad (\text{equação 9})$$

$$IED = \frac{PU}{IS} \quad (\text{equação 10})$$

Onde:

${}^{\circ}\text{Brix}_i$ = Sólido solúvel inicial;

${}^{\circ}\text{Brix}_f$ = Sólido solúvel final

m_i = massa inicial(g);

m_f = massa final (g),

U_i = Umidade inicial (%),

U_f =Umidade final (%).

Calculados segundo Mendes (2013).

O parâmetro IED foi utilizado para a escolha dos melhores produtos.

Os dados obtidos foram ajustados a Equação (37).

$$Y = \varphi(T, t, C) = \beta_0 + \beta_1 T + \beta_2 C + \beta_3 t + \beta_{11} T^2 + \beta_{22} C^2 + \beta_{33} t^2 + \beta_{12} TC + \beta_{13} Tt + \beta_{23} tC \quad (\text{Equação 37})$$

Sendo: β_n : coeficientes de regressão, y : resposta em questão [PU (%)], IS (%) e IED] e T, C e t são as variáveis independentes, Temperatura, concentração da solução osmótica e tempo de imersão.

Tabela 1. Planejamento Fracionado 2^{7-2} para a desidratação osmótica do gomo e do endocarpo duro da *Artocarpus integrifolia L. f.*

E	T (°C)	C (%)	AO	Corte	t (min.)	A	CO
1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1
2	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
3	-1	1	-1	-1	-1	-1	-1
4	1	1	-1	-1	-1	1	1
5	-1	-1	1	-1	-1	-1	1
6	1	-1	1	-1	-1	1	-1
7	-1	1	1	-1	-1	1	-1
8	1	1	1	1	-1	-1	1
9	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1
10	1	-1	-1	1	-1	1	1
11	-1	1	-1	1	-1	1	1
12	1	1	-1	1	-1	-1	-1
13	-1	-1	1	1	-1	1	-1
14	1	-1	1	1	-1	-1	1
15	-1	1	1	1	-1	-1	1
16	1	1	1	1	-1	1	-1
17	-1	-1	-1	-1	1	1	-1
18	1	-1	-1	-1	1	-1	1
19	-1	1	-1	-1	1	-1	1
20	1	1	-1	-1	1	1	-1
21	-1	-1	1	-1	1	-1	-1
22	1	-1	1	-1	1	1	1
23	-1	1	1	-1	1	1	1
24	1	1	1	-1	1	-1	-1
25	-1	-1	-1	1	1	-1	1
26	1	-1	-1	1	1	1	-1
27	-1	1	-1	1	1	1	-1
28	1	1	-1	1	1	-1	1
29	-1	-1	1	1	1	1	1
30	1	-1	1	1	1	-1	-1
31	-1	1	1	1	1	-1	-1
32	1	1	1	1	1	1	1

Ensaio – E; Concentração – C: 5 (-1) e 20 (1); Solução Binária (SB); Temperatura – T: 30°C (-1) e 50 °C (1); Agente Osmótico – (AO); Sacarose - S (1) e Glicose - G (-1), Corte - Longitudinal - LT (-1)), Inteiro – I (1); tempo – t: 2 (-1) e 4 (1); Agitação – A: sem (-1) e com (1); Cobertura – CO: sem (-1) e com (1).

Fonte: O Autor

Tabela 2: Planejamento fatorial 2^3 completo, com 8 pontos fatoriais (níveis ± 1), 3 pontos centrais (nível 0) e 6 pontos axiais ($\pm \alpha$), para a desidratação osmótica do gomo e do endocarpo duro da *Artocarpus integrifolia L. f.*

Ensaios	Temperatura (°C)	Concentração (%)	Tempo de imersão (minutos)
1	-1(34)	-1(44)	-1(120)
2	1(46)	-1(44)	-1(120)
3	-1(34)	1(56)	-1(120)
4	1(46)	1(56)	-1(120)
5	-1(34)	-1(44)	1(210)
6	1(46)	-1(44)	1(210)
7	-1(34)	1(56)	1(210)
8	1(46)	1(56)	1(210)
9	0(40)	0(50)	0(165)
10	0(40)	0(50)	0(165)
11	0(40)	0(50)	0(165)
12	-1,682(30)	0(50)	0(165)
13	1,682(50)	0(50)	0(165)
14	0(40)	-1,682(40)	0(165)
15	0(40)	1,682(60)	0(165)
16	0(40)	0(50)	-1,682(90)
17	0(40)	0(50)	1,682(240)

Fonte: O Autor

3.1.2 Análise Física – Química dos produtos desidratados osmoticamente

Para o gomo e endocarpo duro foram determinados:

pH através de um potenciômetro (marca *AUS JENA*), calibrado com soluções tampão (pH 4,0 e 7,0) a 20°C.

Índice de refração e °Brix (Sólidos solúveis totais - SST) foi determinado por leitura direta em refratômetro de bancada *AUS JENA*. Todas as análises foram feitas em triplicata. A Umidade foi determinada em estufa a 105°C, resfriado em dissecador e pesado até peso constante (AOAC, 2002; Método 985.14) em balança analítica da marca Polimate.

3.1.3 Análises Químicas dos produtos desidratados osmoticamente

No produto “in natura” e os selecionados no planejamento fatorial 2^3 do gomo e endocarpo duro foram realizados as seguintes análises:

Composição Centesimal (Adolfo Lutz, 2008): Umidade e Substâncias Voláteis (g/100), Gordura (g/100g); Cinzas (g/100g); Proteínas (g/100g); HC – Hidrato de Carbono (g/100g), Método: Cálculo, (ASCAR, 1985); VCT – Valor Calórico Total (kcal/100g), Método: Por Cálculo.

Fibra alimentar insolúvel (FAINS) (g/100g), Método: 993.21 (AOAC, 2002); Fibra alimentar (FAZ) solúvel (g/100g), Método: 993.19 (AOAC, 2002); – Fibra alimentar total (FAT) (g/100), Método: Por Cálculo.

Estas análises foram realizadas no Laboratório Experimental de Análises de Alimentos – Nonete Barbosa Guerra do Departamento de Nutrição da UFPE.

3.1.4 Análise Microbiológica dos produtos desidratados osmoticamente

Os ensaios que obtiveram as melhores taxas de DEI no planejamento factorial 2³ e o produto “*in natura*” tanto para o gomo e endocarpo duro, foram realizados as seguintes análises microbiológicas (BRASIL, 2005): *Salmonella spp*, Método: 996.08, (AOAC, 2002); Coliformes totais, Método: 991.02, (AOAC, 2002); Coliformes Termotolerantes, Método: 991.14, (AOAC, 2002); Bolores e Leveduras, Método: 997.02, (AOAC, 2002). Foram feitas também, contagens de bactérias mesofílicas aeróbicas, Método: 990.12, (AOAC, 2002). Estas análises foram realizadas no Laboratório Experimental de Análises de Alimentos – Nonete Barbosa Guerra do Departamento de Nutrição da UFPE.

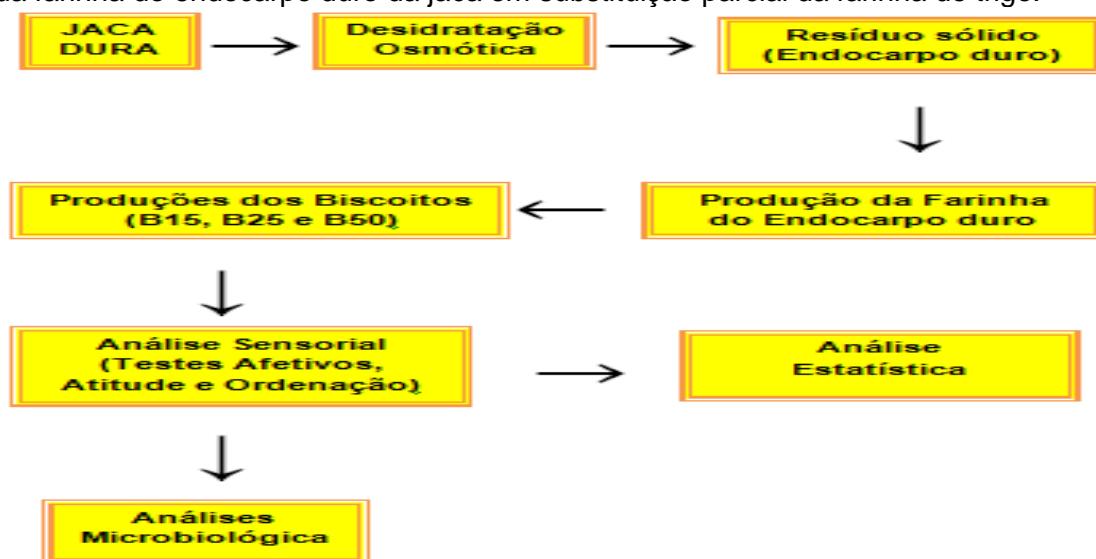
3.1.5 Análise Estatística dos produtos desidratados osmoticamente

Visando a otimização do processo, as respostas obtidas para todos os ensaios foram avaliadas quanto aos efeitos principais e as interações entre os fatores empregando-se o programa computacional *Statistica* 6.0 (STATSOFT, 1997) ao nível de significância de 5%.

3.2 BISCOITOS FORMULADOS COM A FARINHA DO ENDOCARPO DURO DA JACA (*ARTOCARPUS INTEGRIFOLIA L. F.*)

Foram produzidos biscoitos com farinha do endocarpo duro desidratado osmoticamente conforme a Figura 5, para este processo foi escolhido o ensaio do planejamento factorial 2³ que apresentou o maior IED.

Figura 5 - Fluxograma do processamento da produção dos Biscoitos (B15, B25 e B50) da farinha do endocarpo duro da jaca em substituição parcial da farinha de trigo.



Fonte: O Autor

3.2.1 Produção da Farinha do Endocarpo duro da Jaca

Os endocarpos duros foram triturados em liquidificador (marca Walita – Philips, 600 walts) em meio aquoso (na proporção 3:4 água / resíduo) obtendo-se uma pasta, que foi levada para estufa à 70°C por 6 horas. Em seguida foi triturada e peneirada novamente. Em seguida foi pesada em balança semi analítica e armazenada em potes de vidro fechado hermeticamente.

3.2.2 Produções dos Biscoitos a partir da substituição parcial da farinha de trigo pela farinha do endocarpo duro da Jaca.

Foram elaborados três tipos de biscoitos: B15, B25 e B50, ou seja, 15%, 25% e 50% de farinha do endocarpo duro da jaca, em substituição da farinha de trigo (Tabela 3).

Tabela 3 - Composição dos Biscoitos para Formulações B15, B25 e B5 (100g)

FORMULAÇÃO DO BISCOITO	B15 (g)	B25 (g)	B50 (g)
FARINHA DE TRIGO	27,23	24,03	16,02
FARINHA DO ENDOCARPO DURO	4,81	8,01	16,02
FARINHA DE MILHO	11,65	11,65	11,65
ACÚCAR	19,42	19,42	19,42
GORDURA VEGETAL	24,27	24,27	24,27
FERMETO EM PÓ	0,97	0,97	0,97
OVOS	11,65	11,65	11,65

B15 (15% de farinha do ED), B25 (25% de farinha do ED) e B50 (50% de farinha do ED), ED: Endocarpo duro.

Fonte: O Autor

Os biscoitos foram modelados em formato redondo colocado em assadeira com gordura vegetal (margarina) e polvilhado com farinha de trigo. Levados ao forno brando de 140º a 150ºC (Fogão – marca Brastemp), durante 20 minutos. Após a estabilidade da temperatura ($23 \pm 1^{\circ}\text{C}$) foram transferidos e armazenados em potes de vidros devidamente codificados (B15, B25 e B50).

3.2.3. Analise sensorial dos biscoitos dos endocarpos duros da jaca

Para os testes afetivos foi utilizada uma escala hedônica com 9 pontos (9 - gostei extremamente a 1 - desgostei extremamente), para avaliar ,os atributos: aceitação global, aroma, cor, sabor e textura (Anexo 1). O painel sensorial foi composto por 50 julgadores (25 do sexo masculino e 25 do sexo feminino) não treinados alunos do Centro de Educação da UFPE, na faixa etária de 17 a 25 anos, os quais receberam as amostras de biscoitos codificadas com algarismo de três dígitos em blocos completos balanceados aleatoriamente.

3.2.4 Análises microbiológicas dos biscoitos dos endocarpos duros da jaca

A formulação de biscoito que teve melhor aceitação foi submetida as seguintes análises microbiológicas: determinação da presença/ausência dos seguintes tipos de micro-organismos (BRASIL, 2005): *Salmonella spp*, Método: 996.08, (AOAC,2002); Coliformes totais, Método : 991.02 , (AOAC,2002); Coliformes Termotolerantes, Método: 991.14,(AOAC,2002); Bolores e Leveduras, Método : 997.02, (AOAC,2002); bem como contagem de bactérias

mesofílicas aeróbicas, Método: 990.12, (AOAC,2002); estas análises foram realizadas no Laboratório Experimental de Análises de Alimentos – Nonete Barbosa Guerra do Departamento de Nutrição da UFPE.

3.2.5 Análise estatística dos biscoitos dos endocarpos duros da jaca

Os dados foram analisados pela ANOVA, utilizando o teste de Duncan para comparação entre as médias através do Software *Statistica 7 (STATSORT, 2000)*.

3.3 CARACTERIZAÇÃO DOS BIOADSORVENTES DOS RESÍDUOS SÓLIDOS DOS INVÓLUCROS EXTERNOS E ENDOCARPOS DUROS DA JACA (*Artocarpus integrifolia L. f.*)

Os resíduos sólidos do Invólucro externo (casca) e do Endocarpo duro (caroço) obtidos através do processo de desidratação osmótica do gomo e do endocarpo duro da jaca foram utilizados para a produção de bioadsorventes de acordo com o fluxograma apresentado na Figura 6.

Figura 6 - Fluxograma das Produções e Caracterizações dos Bioadsorventes (BIES, BIEC, BEDS e BEDC).



Fonte: O Autor

3.3.1 Preparação dos Bioadsorventes dos Invólucros externos e dos Endocarpos duros da jaca com (BIEC e BEDC) e sem tratamento (BIES e BEDS)

O invólucro externo e o endocarpo duro da jaca (*Artocarpus integrifolia L.* f.), foram lavados separadamente com água corrente e sabão neutro, imersos em solução de hipoclorito de sódio durante 20 minutos, sendo em seguida triturados em liquidificador, depois secados a 105°C em estufa, e refinadas em peneira de granulação para obter medidas de 1,41mm (granulação). Para análise com tratamento (TAA) foram preparados 1000 mL de solução de ácido acético, com tempo de imersão de 60 minutos para todos os resíduos da jaca dura, e secados em estufa a 80 °C até massa constante. O material obtido foi armazenado em dissecador para estabilizar a umidade. Os bioadsorventes de Invólucro Externo e Endocarpo Duro foram nomeados, respectivamente, de modo seguinte: Sem tratamento (BIES e BEDS) e Com tratamento (BIEC e BEDC).

3.3.2 Análises da Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

As caracterizações dos Bioadsorventes BIES (Invólucros externos sem TAA), BIEC (Invólucros Externos com TAA), BEDS (endocarpos duros sem TAA) e BEDC (Endocarpos Duros com TAA) foram analisados através do Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) da Central Analítica do Departamento de Química Fundamental (DQF), Universidade Federal de Pernambuco (UFPE).

A técnica para obtenção das micrografias demanda que as amostras sejam metalizados. Foi então usado o *Quick Coater SC-701*, no qual se depositou uma camada de 20 nm de ouro metálico (5mA/2min) sobre as amostras. Numa etapa seguinte, as micrografias foram então elaboradas no *superscan Shimadzu Scanning*.

3.3.3 Análises de Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)

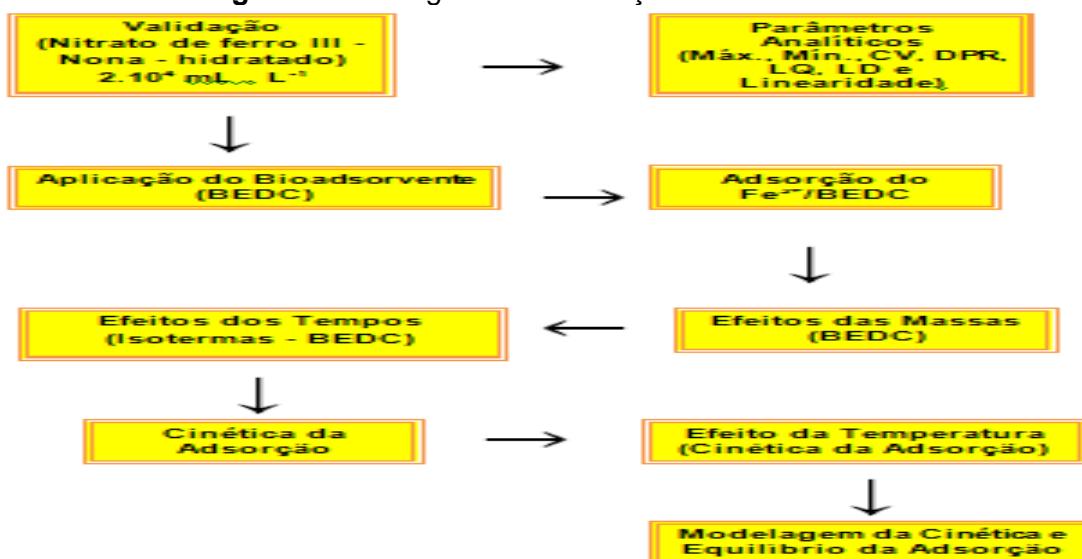
Os Bioadsorventes BIES (Invólucros externos sem TAA), BIEC (Invólucros externos com TAA), BEDS (endocarpos duros sem TAA) e BEDC (endocarpos duros com TAA) foram analisados através do Espectrômetro no

Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR). Marca *PerkinElmer*, modelo *Spectrim 400 (FT-IR/FTNIR - Spectrometer)*, da Central Analítica do Departamento de Química Fundamental (DQF), Universidade Federal de Pernambuco (UFPE).

3.4 ADSORÇÃO DOS ÍONS Fe^{3+} (METAL PESADO) COM O BIOADSORVENTE DO ENDOCARPO DURO

Após as produções dos adsorventes naturais com tratamento (invólucro externo – BIEC e do endocarpo duro – BEDC), através dos resíduos sólidos da desidratação osmótica da jaca dura, partindo da melhor estrutura molecular e maior dimensão dos poros, como parâmetros, foi aplicado o bioadsorvente (BEDC) na adsorção do Fe^{3+} (metal pesado) em solução de Nitrato de ferro III (ICO) Nonahidratado. As adsorções dos íons Fe^{3+} realizadas de acordo com o fluxograma apresentado na Figura 7.

Figura 7 - Fluxograma da adsorção do Fe^{3+} /BEDC



Fonte: O Autor

3.4.1 Validação da solução de Nitrato de ferro III Nonahidratado

A solução de Nitrato de ferro III (ICO) Nonahidratado – $[\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}]$ a 20.000 mL.L^{-1} foi avaliada em alguns parâmetros analíticos (máximo, mínimo, coeficientes de variância (CV), desvio padrão relativo (DPR), limite de quantificação (LQ) e limite de detecção (LD). A linearidade foi estabelecida pelas médias de sete curvas padrões autênticas, as quais foram obtidas em sete níveis

de concentrações diferentes do sal: 30.000, 50.000, 60.000, 80.000, 100.000, 120.000 e 150.000 mg.mL⁻¹. A faixa de variação da concentração corresponde de 30 a 150% da concentração teste. Cada concentração foi determinada em triplicata para cada curva padrão (número de ensaios efetuados é de 27). A linearidade foi avaliada através de análise de regressão linear, utilizando ajuste dos dados pelo método dos mínimos quadrados. Para avaliar numericamente a qualidade do ajuste do modelo, utilizou-se a análise de variância (ANOVA) com teste unilateral, $p < 0,05$.

Para o estudo de precisão foi utilizada a concentração inicial de 100.000 mg.mL⁻¹ do sal (concentração teste) a partir da qual foram formuladas por diluição 6 concentrações diferentes. As análises foram realizadas em sete dias diferentes, pelo mesmo analista. As médias dos resultados obtidos foram avaliadas pelo teste *t* de Student (teste bilateral, $p < 0,05$).

3.4.2 Aplicação do bioadsorvente do endocarpo duro da Jaca

Foi aplicado o bioadsorvente do endocarpo duro com tratamento – ácido acético a 100.000 mg.L⁻¹(BEDC) na adsorção do metal pesado (Ferro – Fe³⁺). O processo de adsorção do cátion do ferro (Fe³⁺) teve como variáveis independentes a concentração das soluções aquosas de ferro (400 mg.L⁻¹; 1000 mg.L⁻¹; 2000 mg.L⁻¹; 3000 mg.L⁻¹; 4000 mg.L⁻¹; 5000 mg.L⁻¹ e 6000 mg.L⁻¹) e a massa do bioabsorvente: 0,2; 0,5; 1,5 e 2,0 g. Foram mantidos constantes: o volume de 20 mL da solução de Nitrato de ferro III (ICO) Nona -hidratado – [Fe(NO₃)₃.9H₂O] a 20.000 mg.L⁻¹, a velocidade de agitação de 310 rpm e o tempo de adsorção de 30 minutos. As leituras das amostras foram realizadas no Espectrofotômetro UV-Visível no comprimento de onda de 190 a 700 nm. Todas as análises quantitativas foram realizadas em espectrofotômetro UV-Vis - Thermo scientific, no LEAQ/DEQ/UFPE, utilizando células de quartzo de 10 mm de caminho óptico. O comprimento de onda de 195 nm, que se caracteriza pela maior absorbância do ferro, foi utilizado para as análises quantitativas do metal pesado nas soluções aquosas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Avaliações dos resultados obtidos através das modelagens matemáticas aplicadas, e comparadas com trabalhos científicos produzidos nos últimos anos.

4.1 DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA DO ENDOCARPO DURO DA JACA

No Endocarpo duro e no Gomo da Jaca foram aplicados uma secagem parcial. Neste processo utilizado foi a Desidratação osmótica.

4.1.1 Desidratação osmótica do gomo do endocarpo duro da *Artocarpus integrifolia L. F.*, para o planejamento fracionado 2⁷⁻² (32 ensaios)

Na Tabela 4 verificamos que os ensaios 3 e 9 obtiveram valores semelhantes quanto a PU, IS e IED, obtendo maiores valores de IED em relação aos demais ensaios.

O agente osmótico foi o único parâmetro que influenciou a PU, IS e IED (Tabela 5). Nesta mesma Tabela observamos que a glicose teve efeito significativo sobre a PU e IED, enquanto a sacarose teve sobre a IS, fato este comprovado pelos ensaios 3 (30°C; 20°Brix; glicose; inteiro; 60 minutos; sem agitação; sem cobertura) e 9 (30°C; 5°Brix; glicose; longitudinal; 60 minutos; sem agitação; sem cobertura) que foram processados com glicose.

Diante deste resultado foi realizado um planejamento fatorial completo 2³ tendo como agente osmótico a glicose.

Tabela 4 - Resultados das PU, IS e IED da Desidratação osmótica do Gomo para o planejamento fracionado 2⁷⁻²

E	PU	IS	IED	E	PU	IS	IED
1	59,67	5,65	10,56	17	58,65	8,45	6,94
2	44,81	9,54	4,70	18	60,95	6,43	9,48
3	69,8	2,06	33,88	19	52,84	8,23	6,42
4	58,86	3,25	18,11	20	50,32	18,68	2,69
5	44,32	9,35	4,74	21	45,65	10,61	4,30
6	40,46	12,78	3,17	22	48,56	8,13	5,97
7	40,75	11,3	3,61	23	49,43	6,89	7,17
8	42,67	4,24	10,06	24	44,84	12,12	3,70
9	69,9	2,09	33,44	25	42,08	5,34	7,88
10	69,98	3,21	21,80	26	43,87	10,31	4,26
11	65,06	6,26	10,39	27	48,56	10,2	4,76
12	43,05	8,89	4,84	28	48,98	4,52	10,84
13	40,32	11,8	3,42	29	48,23	8,27	5,83
14	42,23	10,76	3,92	30	48,78	13,32	3,66
15	43,32	10,8	4,01	31	46,76	15,54	3,01
16	34,56	12,23	2,83	32	66,98	3,42	19,58

Fonte: O Autor

Tabela 5 - Estimativa dos efeitos para das variáveis independentes sobre as respostas PU, IS e IED no planejamento fracionário 2⁷⁻³ do gomo

	PU(%)	IS(%)	IED
Médias	48,92	8,85	NS
Temperatura (°C)	NS	NS	NS
Concentração da solução (°Brix)	NS	NS	NS
Agente Osmótico	-19,06	5,29	-12,74
Corte	NS	NS	NS
Tempo de imersão (minutos)	NS	NS	NS
Agitação	NS	NS	NS
Cobertura	NS	NS	NS

PU: perda de umidade; IS: Incorporação de sólidos; IED: Índice de eficiência de desidratação osmótica. NS: não significativo.

Fonte: O Autor

Em relação ao endocarpo duro, constatamos que os melhores ensaios foram 1 (30 °C; 5 °Brix; glicose; inteiro; 60 minutos; com agitação; com cobertura) e 9 (30 °C; 5 °Brix; glicose; longitudinal; 60 minutos; sem agitação; sem cobertura), ou seja, foram os ensaios que obtiveram maior perda de umidade e menor incorporação de sólidos (Tabela 6). A diferença entre os dois ensaios é a agitação, corte e cobertura, comprovando que nenhuma destas variáveis teve influência sobre a PU e IS, como mostrado na Tabela 7.

Na Tabela 7 verificamos que a temperatura influenciou a IS e IED, o aumento desta fez com que o endocarpo duro incorporasse mais açúcar, com isso o IED diminuía o que não era o objetivo da presente pesquisa.

Com aumento também da concentração osmótica da solução obtivemos uma queda do IED, salientando que a glicose favoreceu a perda de umidade consequentemente o aumento do IED (Tabela 6 e 7) corroborando com diversos autores (GERMER, *et al.*, 2007; GERMER, *et al.*, 2008; GERMER, *et al.*, 2011; EGEA e LOBATO, 2014)

Tabela 6 - Resultados das variáveis PU, IS e IED da Desidratação osmótica do Endocarpo duro para o planejamento fracionário 2^{7-3}

E	PU(%)	IS(%)	IED	E	PU(%)	IS(%)	IED
1	79,67	1,02	78,11	17	69,45	1,45	47,90
2	64,81	1,39	46,63	18	70,85	1,56	45,42
3	79,8	1,45	55,03	19	67,48	1,89	35,70
4	68,86	1,93	35,68	20	68,26	1,68	40,63
5	54,32	1,42	38,25	21	68,65	1,46	47,02
6	52,46	1,68	31,23	22	58,12	1,56	37,26
7	54,75	1,3	42,12	23	69,43	1,45	47,88
8	52,67	2,21	23,83	24	64,84	1,34	48,39
9	80,9	1,16	69,74	25	59,08	1,34	44,09
10	80,98	1,21	66,93	26	63,87	1,31	48,76
11	75,06	1,3	57,74	27	68,48	1,36	50,35
12	63,05	1,89	33,36	28	68,89	1,35	51,03
13	67,32	1,8	37,4	29	68,75	1,83	37,57
14	66,23	1,76	37,63	30	68,78	1,52	45,25
15	56,32	1,68	33,52	31	66,76	1,84	36,28
16	54,43	1,53	35,58	32	66,98	1,72	38,94

Fonte: O Autor

Tabela 7 - Estimativa dos efeitos das variáveis independentes sobre as respostas PU, IS e IED no Planejamento Fracionário 2^{7-3} do Endocarpo duro

	PU(%)	IS(%)	IED
Médias	61,87	1,74	35,32
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	NS	0,31	-12,63
Concentração da solução ($^{\circ}\text{Brix}$)	NS	NS	-11,13
Agente Osmótico	-1683	NS	-20,46
Corte	NS	NS	NS
Tempo de imersão (minutos)	NS	NS	NS
Agitação	NS	NS	NS
Cobertura	NS	NS	NS

PU: perda de umidade; IS: Incorporação de sólidos; IED: Índice de eficiência de desidratação osmótica. NS: não significativo.

Fonte: O Autor

A glicose teve efeito significativo sobre a PU e IED. O IED sofreu influência da temperatura, $^{\circ}\text{Brix}$ e agente osmótico. A incorporação de sólidos (IS) sofreu apenas da temperatura (Tabela 7). Resultados similares ocorreram nas pesquisas de diversos autores (2007; DEROSSI *et al.*, 2008; LOMBARD *et al.*, 2008).

Nos dois processos (Tabela 5 e 7) verificamos que a concentração da solução osmótica não teve influência sobre a PU e IS. Resultados contrários foram observados na desidratação osmótica em diferentes frutos à pressão atmosférica, apesar de ter intensificado a PU aumentou a IS (FERNANDES *et*

al., 2006; PEIRÓ-MENA *et al.*, 2007; DEROSSI *et al.*, 2008; LOMBARD *et al.*, 2008; GERMER, *et al.*, 2011; GONÇALVES e BLUME, 2008; ATARÉS *et al.*, 2008; MENA *et al.*, 2008) e similares na desidratação osmótica de manga (KRAN *et al.*, 2008).

Quinto *et al.* (2004) desidratando osmoticamente fatias de chuchu observaram que 30 minutos de imersão à uma temperatura de 40°C não tiveram uma perda de umidade significativa.

Na desidratação osmótica a perda de água é acompanhada por incorporação de sólidos, devido aos gradientes de concentração, e como consequência das trocas difusionais que ocorrem durante o processo (EGEA e LOBATO, 2014).

A utilização de tipos diferentes de agentes osmóticos vem sendo muito pesquisado por diversos autores (FERNANDES *et al.*, 2006; PEIRÓ-MENA *et al.*, 2007; DEROSSI *et al.*, 2008; LOMBARD *et al.*, 2008; GERMER, *et al.*, 2011).

Na Tabela 5 e 7 verificamos que o tipo de corte não teve influência em nenhuma das respostas (PU, IS e DEI), resultados opostos ocorreram durante a desidratação osmótica do abacaxi (GONÇALVES e BLUME, 2008).

Ainda na Tabela 5 e 7 observamos que a agitação e cobertura também não tiveram influência nas respostas (PU, IS e DEI), o que torna a desidratação osmótica do gomo e endocarpo duro com o custo mais baixo, ou seja, sem agitação e cobertura, corroborando com diversos autores (FERNANDES *et al.*, 2006; PEIRÓ-MENA *et al.*, 2007; DEROSSI *et al.*, 2008; LOMBARD *et al.*, 2008).

4.1.2. Desidratação osmótica do gomo e do endocarpo duro da *Artocarpus integrifolia L. F.*, para o planejamento fatorial completo 2³

Na Tabela 8 podemos observar os resultados da desidratação osmótica do gomo da jaca dura. Verifica-se que os ensaios 2 (46°C, 44% e 120 minutos) e 5 (34°C, 44% e 210min) obtiveram os maiores IED, 11,23% e 13,47% respectivamente, ou seja, foram os ensaios que alcançaram maior perda de umidade (69,73% e 64,79% respectivamente) e menor incorporação de sólidos (6,21% e 4,81% respectivamente). Várias pesquisas obtiveram resultados

similares referentes ao IED (GERMER, *et al.*, 2007; DEROSSI *et al.*, 2008; KRAN *et al.*, 2008; PANI *et al.*, 2008; GERMER, *et al.*, 2008; GERMER, *et al.*, 2011).

Tabela 8 - Resultados do planejamento fatorial 2³ completo para a desidratação osmótica do gomo da jaca dura

ENSAIOS	T (°C)	C (%)	t(min)	PU(%)	IS(%)	IED(%)
1	34	44	120	64,72	7,06	9,17
2	46	44	120	69,72	6,21	11,23
3	34	56	120	62,53	12,65	4,94
4	46	56	120	61,43	8,86	6,93
5	34	44	210	64,79	4,81	13,47
6	46	44	210	56,99	8,53	6,68
7	34	56	210	61,66	7,06	8,73
8	46	56	210	55,20	8,99	6,14
9	40	50	165	61,44	7,38	8,33
10	40	50	165	58,21	10,41	5,59
11	40	50	165	60,56	9,30	6,51
12	30	50	165	53,25	12,71	4,19
13	50	50	165	53,50	11,14	4,80
14	40	40	165	62,25	15,95	3,90
15	40	60	165	59,45	11,46	5,19
16	40	50	90	53,00	15,50	3,42
17	40	50	240	58,69	8,72	6,73

T (temperatura), C (concentração), t (tempo de imersão), PU (perda de umidade), IS (incorporação de sólidos) e IED (índice de eficiência da desidratação).

Fonte: O Autor

Na Tabela 9 constatamos que nenhuma das respostas (PU, IS e DEI) teve bom ajuste à equação, fato este comprovado pelo baixo valor do coeficiente de determinação, como também estas respostas não tiveram influência de nenhuma variável independente, exceto a perda de umidade que foi influenciada pelo termo quadrático da temperatura.

Tabela 9 - Estimativa dos efeitos das variáveis independentes sobre as respostas PU, IS e IED no planejamento factorial 2³ do gomo da jaca

	PU(%)	P	IS(%)	P	IED	P
B ₀	61,60	0,000240	7,81	0,012354	8,01	0,009744
B ₁	NS	0,060395	NS	0,325457	NS	0,169211
B ₁₁	-2,77	0,031672	NS	0,120163	NS	0,105361
B ₂	NS	0,090765	NS	0,461980	NS	0,128674
B ₂₂	NS	0,284326	NS	0,146871	NS	0,435894
B ₃	NS	0,364339	NS	0,082887	NS	0,167286
B ₃₃	NS	0,188827	NS	0,376224	NS	0,646949
B ₁₂	NS	0,536323	NS	0,224634	NS	0,251391
B ₁₃	NS	0,106420	NS	0,185465	NS	0,087517
B ₂₃	NS	0,360228	NS	0,330271	NS	0,496550
R ²	0,584		0,407		0,499	

1: Temperatura (°C); 2: °Brix; 3: Tempo de imersão (minutos); NS: Não significativo; PU: perda de umidade; IS: incorporação de sólidos e IED: índice de eficiência da desidratação.

Fonte: O Autor

Tendo como parâmetro o IED constatamos na Tabela 10 que durante a desidratação osmótica do endocarpo duro os ensaios 6 (46°;44% e 210 min) 12 (30°;50% e 165min) foram os que obtiveram maiores valores de IED, 10,18 e 9,38 respectivamente e PU de 50,90% e 60,06% respectivamente. Segundo Gemer et al (2011) e Egea e Lobato (2014) é considerada uma boa desidratação osmótica quando a PU é acima de 40% com uma IS baixa, resultando assim em um processamento satisfatório e eficiente (AMINZADEH, SARGOLZAEI e ABARZAN, 2012; ABRAÃO et al., 2013; SILVA, FERNANDES e MAURO, 2014). Assim podemos afirmar que os ensaios 6 e 12 tiveram uma DO satisfatória.

Tabela 10 - Resultados do planejamento fatorial 2³ completo para a desidratação osmótica do endocarpo duro da *Artocarpus integrifolia L. f.*

ENSAIOS	T (°C)	C (%)	t(min)	PU(%)	IS(%)	IED
1	34	44	120	49,81	5,81	8,57
2	46	44	120	57,16	14,58	3,92
3	34	56	120	48,02	7,89	6,09
4	46	56	120	64,46	14,50	4,45
5	34	44	210	38,38	6,46	6,01
6	46	44	210	50,90	5,00	10,18
7	34	56	210	35,97	6,04	5,96
8	46	56	210	43,91	7,08	6,20
9	40	50	120	54,07	9,62	5,62
10	40	50	165	53,80	18,90	2,85
11	40	50	165	64,22	12,48	5,15
12	30	50	165	60,06	6,40	9,38
13	50	50	165	44,13	20,71	2,13
14	40	40	165	43,52	6,12	7,11
15	40	60	165	54,55	9,80	5,57
16	40	50	90	37,91	11,99	3,16
17	40	50	240	51,05	9,78	5,22

T (temperatura), C (concentração), t (tempo de imersão), PU (perda de umidade), IS (incorporação de sólidos) e IED (índice de eficiência da desidratação).

Fonte: O Autor

Na Tabela 11 constatamos que a PU, IS e IED, no endocarpo duro não sofreram influência de nenhuma variável independente, diferentemente de Panades *et al.* (2008) ao desidratarem goiabas, o qual a PU, IS e IED sofreram influência da temperatura e concentração do agente osmótico.

Tabela 11 - Estimativa dos efeitos das variáveis independentes sobre as respostas PU, IS e IED no planejamento fatorial completo 2³ do endocarpo duro da *Artocarpus integrifolia L. f.*

	PU(%)	P	IS(%)	P	IED	p
B ₀	54,16	0,003903	12,64	0,043201	4,83	0,029383
B ₁	NS	0,789258	NS	0,168011	NS	0,160414
B ₁₁	NS	0,699431	NS	0,624675	NS	0,707349
B ₂	NS	0,628093	NS	0,644219	NS	0,268200
B ₂₂	NS	0,399079	NS	0,255014	NS	0,195066
B ₃	NS	0,307556	NS	0,401270	NS	0,367591
B ₃₃	NS	0,192517	NS	0,472107	NS	0,813819
B ₁₂	NS	0,664295	NS	0,946236	NS	0,900221
B ₁₃	NS	0,692576	NS	0,414514	NS	0,130980
B ₂₃	NS	0,468437	NS	0,982117	NS	0,668978
R ²	0,282		0,780		0,746	

1: Temperatura (°C); 2: °Brix; 3: Tempo de imersão (minutos); PU (Perda de umidade); IS (Incorporação de sólidos); IED (Índice eficiência da desidratação); NS: Não significativo.

Fonte: O Autor

Para o endocarpo duro foi escolhido o ensaio 6 (Tabela 10) e para o gomo o ensaio 5 (Tabela 8), ambos tiveram maior índice de IED e serão chamados de endocarpo duro processado e gomo processado respectivamente. Do ponto de vista econômico pode-se ressaltar o baixo custo do agente osmótico, como também estes experimentos foram processados com temperatura baixa, ensaio 6 (46°C) e ensaio 5 (34°C), portanto menor custo de energia.

4.1.3 Análise Físico – Química e Química

Além de contribuir para melhoria das características organolépticas constata-se, através de uma comparação entre a composição da matéria prima e o produto do melhor processamento (gomo e endocarpo duro), do ponto de vista nutricional, o processo propiciou um aumento do valor energético, devido ao teor de carboidrato, proteínas e lipídeos terem dados maiores, provavelmente com a saída de água as substâncias se concentraram no fruto, o mesmo ocorreu com as fibras, em contrapartida a umidade reduziu (Tabela 12 e 13).

Tabela 12 - Resultados da Análise Físico-Química para o Gomo da Jaca (“In Natura” e Gomo processado)

	GOMO	
	“In Natura”	Gomo Processado
VCT Kcal (%)	35,65	44,04
Carboidratos (g%)	22,19	28,28
Lipídeos (g%)	0,96	0,98
Proteínas (g%)	0,56	0,58
Cinzas (g%)	0,93	1,48
Umidade (g%)	48,54	39,56
Fibra insolúvel (g%)	11,87	12, 48
Fibra solúvel (g%)	1,54	2,08
Fibra total (g%)	13,41	14,56

Fonte: O Autor

Tabela 13 - Resultados da Análise Físico-Química para o Endocarro duro da Jaca (“In Natura” e Processado)

ENDOCARPO DURO		
	“In Natura”	Endocarro duro Processado
VCT Kcal (%)	70,25	71,37
Carboidratos (g%)	27,22	33,25
Lipídeos (g%)	0,12	0,16
Proteínas (g%)	0,32	0,43
Cinzas (g%)	0,78	1,49
Umidade (g%)	50,76	42,03
Fibra insolúvel (g%)	9,53	9,98
Fibra solúvel (g%)	0,87	1,34
Fibra total (g%)	10,4	11,32

VCT: Valor calórico total

Fonte: O Autor

4.1.4 Análises Microbiológicas

Nas Tabelas 14 e 15 encontram-se os resultados das análises microbiológicas do Gomo e do Endocarro duro (“in natura” e desidratada osmoticamente) e estão dentro dos padrões determinados pela RDC 12/2001 da ANVISA.

Tabela 14 - Análises microbiológicas do Gomo (“in natura” e processado) da Jaca

Análises	Produto “in natura”	Produto processado
Salmonella SSP/25g	Ausência	Ausência
Bolores e Leveduras (UFC/g)	20	10
Coliformes totais (UFC/g)	< 10	< 10
Coliformes fecais (UFC/g)	< 10	< 10
Contagem de aeróbios (UFC/g)	$3,0 \times 10^2$	$2,3 \times 10^2$

Fonte: O Autor

Tabela 15 - Análises microbiológicas do Endocarro duro (“in natura” e processado) da Jaca

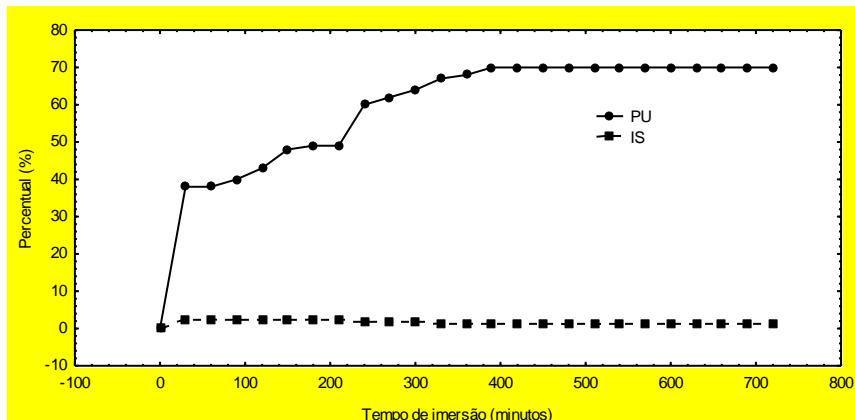
Análises	Produto “in natura”	Produto processado
Salmonella SSP/25g	Ausência	Ausência
Bolores e Leveduras (UFC/g)	10	< 10
Coliformes totais (UFC/g)	< 10	< 10
Coliformes fecais (UFC/g)	< 10	< 10
Contagem de aeróbios (UFC/g)	$2,0 \times 10^2$	$1,3 \times 10^2$

Fonte: O Autor

4.1.5 Cinética do melhor processo do gomo e endocarpo duro

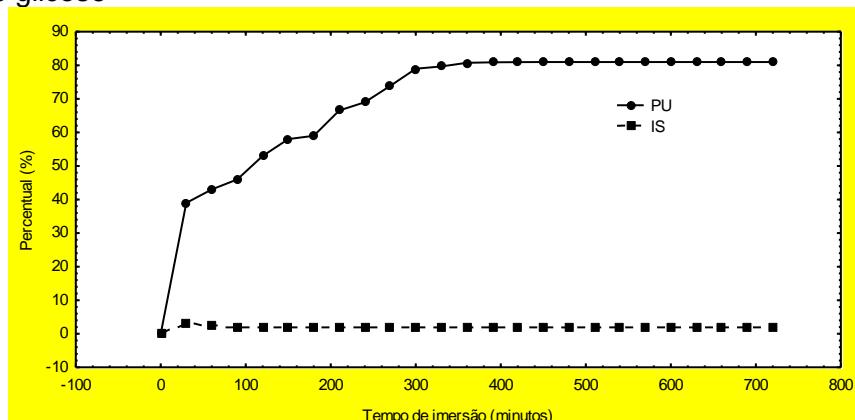
Nas Figuras 8 e 9 observa-se que, de um modo geral, a velocidade de PU e de IS para ambos os processamentos (gomo e endocarpo duro) foram maiores nas duas primeiras horas de desidratação osmótica. Com relação à PU obteve-se 35,28% (gomo) e de 39,94% (endocarpo duro). Maiores perdas foram obtidas por Kowalska, Lenart e Leszczyk (2008), ao desidratarem cenoura e abóbora, por 30 minutos, alcançando 47 e 50% de PU, respectivamente, em solução de sacarose de 61,5 °Brix, ressaltando que o nosso produto foi realizado com 44°Brix (gomo) e 50°Brix (endocarpo duro), ou seja, menor do citado acima, provavelmente a concentração maior dos autores acima favoreceram maior PU em menor tempo.

Figura 8 - Cinética da PU e IS no Gomo durante o tratamento osmótico em solução de glicose



Fonte: O Autor

Figura 9 - Cinética da PU e IS no Endocarpo duro durante o tratamento osmótico em solução de glicose



Fonte: O Autor

Ainda nas Figuras 8 e 9 contata-se que após as primeiras horas os fluxos de massa tenderam a diminuir consideravelmente até que o equilíbrio fosse estabelecido. Este equilíbrio se deu em torno de 420 minutos para o gomo e 300 minutos para o endocarpo duro para PU e IS. Após estes tempos não foram observadas diferenças significativas de PU e IS. Nas desidratações osmóticas de diversas frutas e legumes Tedjo et al. (2002) e Quinto et al. (2004) alcançaram o equilíbrio em um menor tempo (240 minutos) (TEDJO et al., 2002 e QUINTO et al., 2004).

4.2 AVALIAÇÃO MICROBIOLÓGICA E DA ACEITABILIDADE DE BISCOITO FORMULADA COM A FARINHA DO ENDOCARPO DURO DA ARTOCARPUS INTEGRIFOLIA I. F.

Na Tabela 16 podemos observar os resultados da análise sensorial dos biscoitos produzidos com a farinha do endocarpo duro.

Tabela 16 - Resultado da Análise Sensorial (Aceitação Global, Aroma, Cor, Sabor e Textura) para os Biscoitos B15, B25 e B50

B	ACEITAÇÃO GLOBAL	AROMA	COR	SABOR	TEXTURA
B15	8,68±0,74a	7,88±2,17a	8,56±1,11a	6,88±2,30a	6,88±2,30a
B25	7,42±2,22b	7,08±2,64a	7,42±2,05b	6,10±2,71a	6,10±2,71a
B50	7,28±2,15b	7,26±2,52a	6,56±2,43c	6,48±2,74a	6,52±2,67a

Médias seguidas de letras iguais na vertical não diferem significativamente ao nível de 5% de significância pelo teste de Duncan. B (Biscoitos); B15 (15% de farinha do ED), B25 (25% de farinha do ED) e B50 (50% de farinha do ED), ED: Endocarpo duro.

Fonte: O Autor

Na Tabela 16 verificamos que nos atributos sabor, textura e aroma os biscoitos não diferiram significativamente ($p>0,05$), enquanto que nos atributos aceitação global e cor as maiores notas foram obtidas no biscoito com 15% de farinha do endocarpo duro da jaca, diferindo significativamente com os demais ($p<0,05$). Os resultados corroboram com outros autores (BASSETTO et al., 2013; PALUDO e COELHO, 2014; AROUCHA, et al., 2014; ALMEIDAS, et al., 2015; OLIVEIRA et al., 2015; SANTANA, et al., 2015; PINTO, PENHA e RODRIGUES, 2015).

Os resultados das análises microbiológicas (Tabela 17) do biscoito do endocarpo duro da jaca (B15) indicam que, o mesmo se encontra dentro dos padrões estabelecidos pela Resolução ANVISA RDC N° 12 de 02/01/2001 (BRASIL, 2015).

Tabela 17 - Análises Microbiológicas do Biscoito do endocarpo duro (B15)

ANÁLISES MICROBIOLOGICAS	RESULTADOS
<i>Salmonella</i> SSP/25%	Ausência
Bolores e Leveduras (UFC/g)	< 10
Coliformes totais (UFC/g)	< 10
Coliformes fecais (UFC/g)	< 10
Contagem de aeróbios (UFC/g)	$1,2 \times 10^2$

B15: 15% de farinha do endocarpo duro.

Fonte: O Autor

4.3 CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS (INVÓLUCRO EXTERNO E ENDOCARPO DURO) DA *ARTOCARPUS INTEGRIFOLIA L. F.*

A seguir são apresentados os resultados obtidos na caracterização dos resíduos sólidos da fruta da jaca dura: invólucro externo e endocarpo duro, sem nenhum tratamento químico (naturais) e com tratamento com ácido acético a 10% (mássico) (TAA). Foram usadas principalmente duas técnicas de caracterização: a Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e a Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR).

4.3.1 Invólucro externo da *Artocarpus integrifolia L. f.*

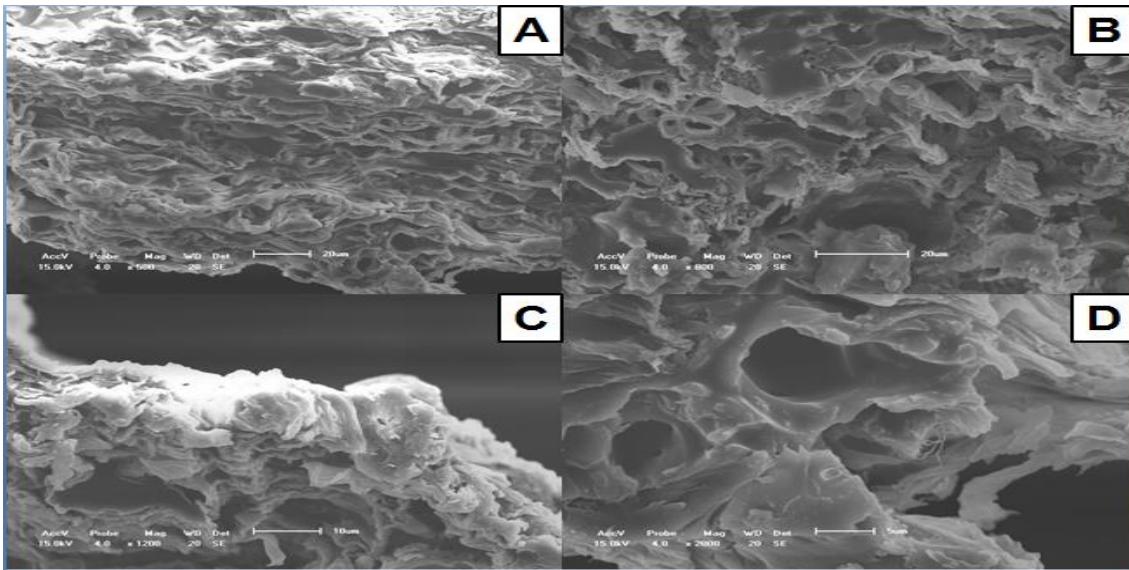
Observação e constatação do Invólucro externo da Jaca dura, como Bioabsorventes naturais.

4.3.1.1 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) do BIES

Foram realizadas análises de microscopia eletrônica de varredura (MEV) para o sólido residual do invólucro externo da *Artocarpus integrifolia L. f.*, sem tratamento com ácido acético a 10%.

Observando os resultados adquiridos através da MEV para resíduo sólido do invólucro externo, com granulação de 1,41 mm e sem tratamento químico (BIES), com ampliações de 500 vezes (Figura 10A) e 800 vezes (Figura 10B), constata-se uma superfície sólido não uniforme e com diversas crateras.

Figura 10 - Micrografias de varredura do BIES. A) com ampliação de 500 vezes; B) com ampliação de 800 vezes; C) com ampliação de 1200 vezes; D) com ampliação de 2000 vezes.

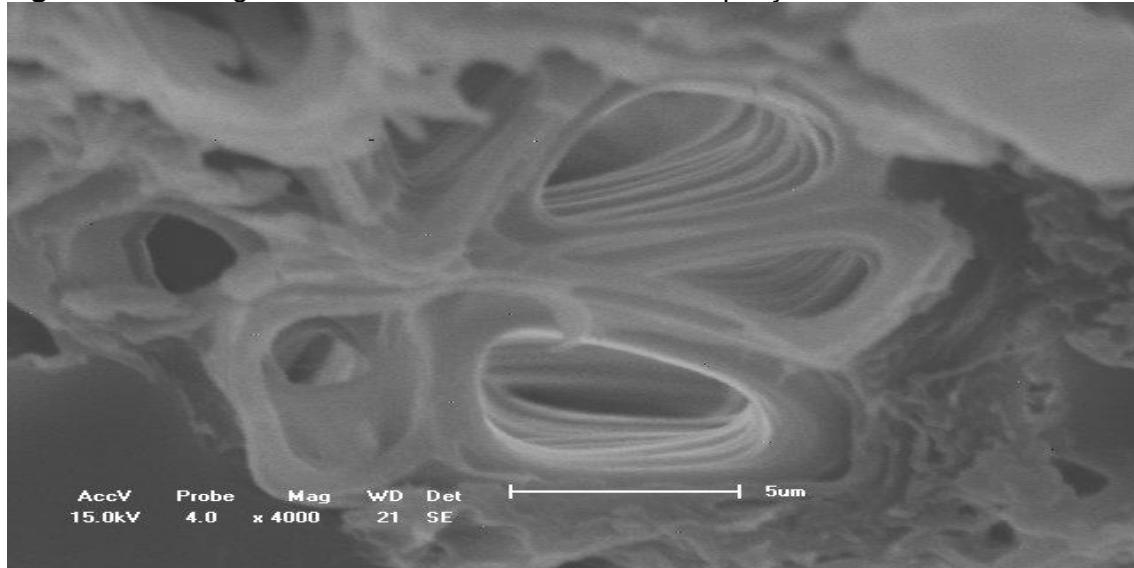


Fonte: O Autor

Analizando as micrografias de varredura com ampliação de 1200 vezes (Figura 10C) e 2000 vezes (Figura 10D), confirma-se a existência de várias crateras não uniformes com diversos tamanhos, e a presença de alguns cristais também não homogêneos.

Ampliando as micrografias de varredura para uma escala de 4000 vezes (Figura 11), obteve-se a confirmação de uma superfície muito irregular com formação de várias saliências, e diversas crateras em vários tamanhos e profundidades.

Figura 11 - Micrografias de varredura do BIES com ampliação de 4000 vezes.



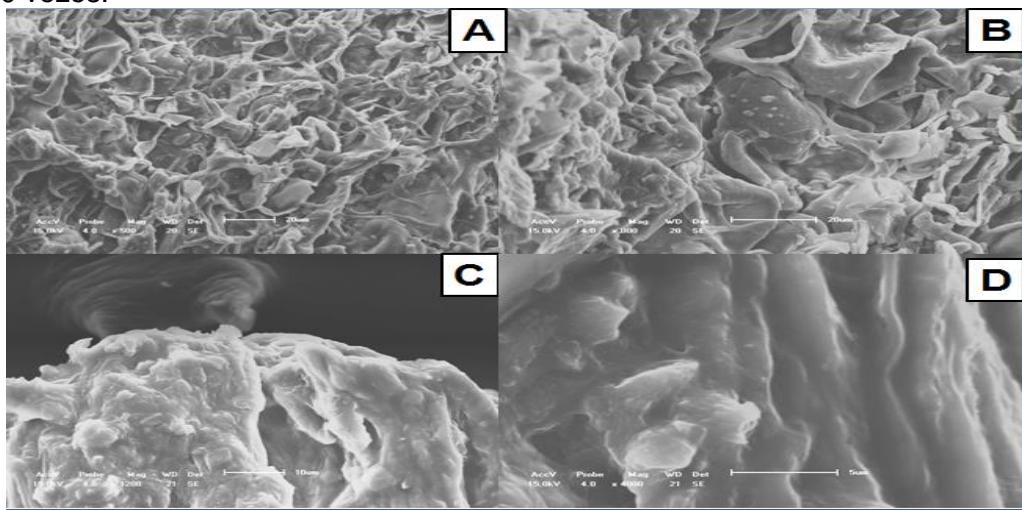
Fonte: O Autor

4.3.1.2 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) do BIEC

Com a necessidade de aprofundar os conhecimentos para melhor fundamentar a utilização do Invólucro externo como um novo bioadsorvente, foi realizado um tratamento com ácido acético a 10% (TAA) e obteve-se o BIEC.

Na Figura 12 podemos observar os resultados das micrografias de varredura do Invólucro Externo (BIEC) com ampliação de 500; 800; 1200 e 4000 vezes, o qual constata-se uma alteração positiva na superfície do produto estudado comparado com o mesmo material sem tratamento (BIES).

Figura 12 - Micrografias de varreduras do BIEC. A) com ampliação de 500 vezes; B) com ampliação de 800 vezes; C) com ampliação de 1200 vezes; D) com ampliação de 4000 vezes.



Fonte: O Autor

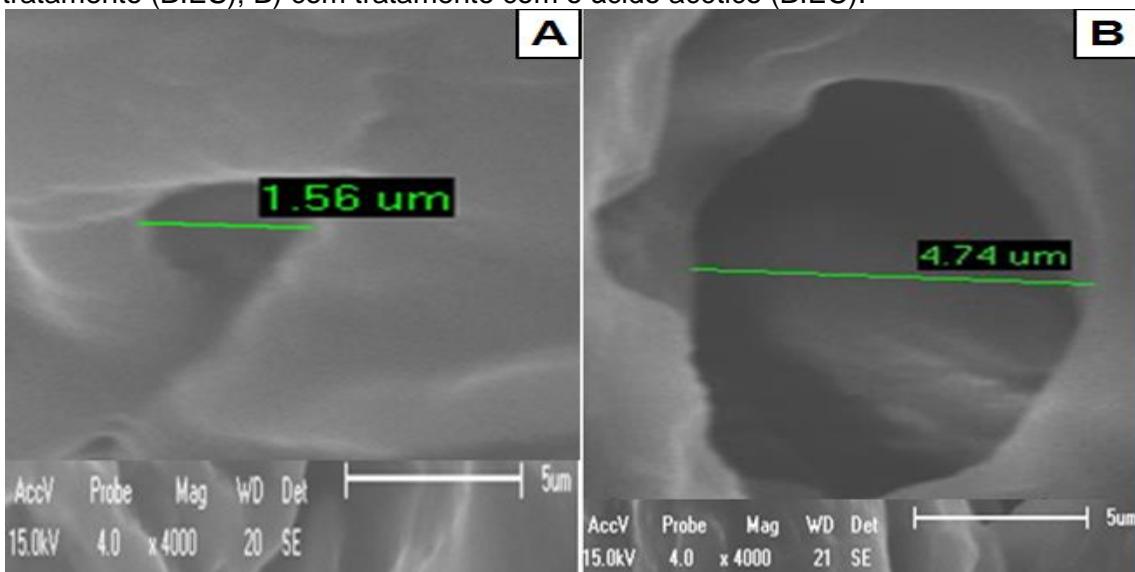
Nas ampliações 500 vezes (Figura 12A) e 800 vezes (Figura 12B), mostra-se a formação de pequenos cristais ainda irregulares, filamentos longos e crateras indefinidas, comparadas as ampliações 500 e 800 vezes sem TAA.

Detalhando mais a pesquisa, observando os resultados das micrografias de varredura do BIEC (Invólucro externo com tratamento) nas ampliações de 1200 vezes (Figura 12C) e 4000 vezes (Figura 12D), evidencia-se a eficiência do tratamento com ácido acético, pois há presença de filamentos longos e irregulares, e cristais mais bem definidos do que na superfície da casca sem tratamento (BIES).

4.3.1.3 Diâmetro do comprimento do BIES e BIEC

Determinando os diâmetros das crateras (poros) representativos do Invólucro externo sem e com tratamento, BIES e BIEC (resíduos sólidos da jaca), respectivamente, através das micrografias eletrônicas de varredura, com ampliação de 4000 vezes (Figura 13), se quantifica um valor de 1,56 μm para o BIES e 4,74 μm para o BIEC.

Figura 13 - Diâmetro do comprimento do BIE com Ampliação de 4000 vezes. A) sem tratamento (BIES); B) com tratamento com o ácido acético (BIEC).



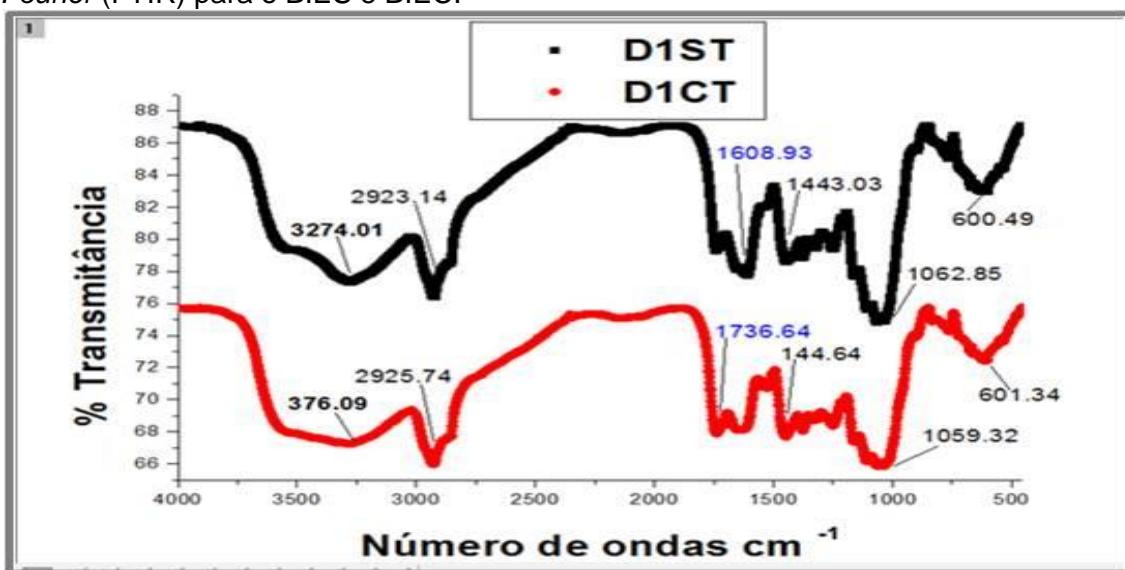
Fonte: O Autor

São nessas crateras (Figura 13A e 13B) que provavelmente poderão ocorrer fenômenos de adsorção de compostos orgânicos e/ou de metais pesados, fazendo do BIES e BIEC prováveis bioadsorventes. Considerando o tamanho das crateras (poros) dos dois materiais sólidos estudados, indica-se que o invólucro externo com tratamento com ácido acético (BIEC) seja provavelmente o mais eficiente para promover a remoção de eventuais metais pesados.

4.3.1.4 Espectroscopia no Infravermelho por transformada de Fourier (FTIR) para o BIES e BIEC

Os resultados dos espectros de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR) para o invólucro externo, sem tratamento químico (BIES), e com tratamento químico (BIEC) (Figura 14) mostram que não ocorreram alterações das bandas, para o produto com tratamento, indicando teoricamente que a escolha do ácido acético para o tratamento desse produto natural foi adequada.

Figura 14 - Espectros da Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR) para o BIES e BIEC.



Fonte: O Autor

Os espectros do infravermelho apresentados na Figura 14 evidenciam a formação de bandas entre 3000 a 3500 cm^{-1} , isto se deve possivelmente ao estiramento do grupamento OH (Forte) provenientes de água adsorvida nos materiais (RAMOS, 2012). Constatase a presença das bandas C=O (Forte), no estiramento 1600-1800 cm^{-1} , confirmando resultados encontrados na literatura (SILVERSTEIN; WEBSTER; KIEMLE, 2010). Para os estiramentos nas faixas de 2840-3000 cm^{-1} do C-H, indica a presença de prováveis resíduos orgânicos não calcinados completamente, conforme apresentado por Barros e Souza, (2010). Nas bandas 1608 e 1636,64 cm^{-1} correspondentes à deformação N-H de aminas (SILVERSTEIN; WEBSTER; KIEMLE, 2010). Para os autores (LEITE *et al.*, 2005), resultados similares foram obtidos em sua pesquisa, atribuindo às bandas 2920 cm^{-1} ao estiramento C-H. e em 1606 cm^{-1} , correspondente à deformação N-H de aminas (BARROS; SOUZA, 2010).

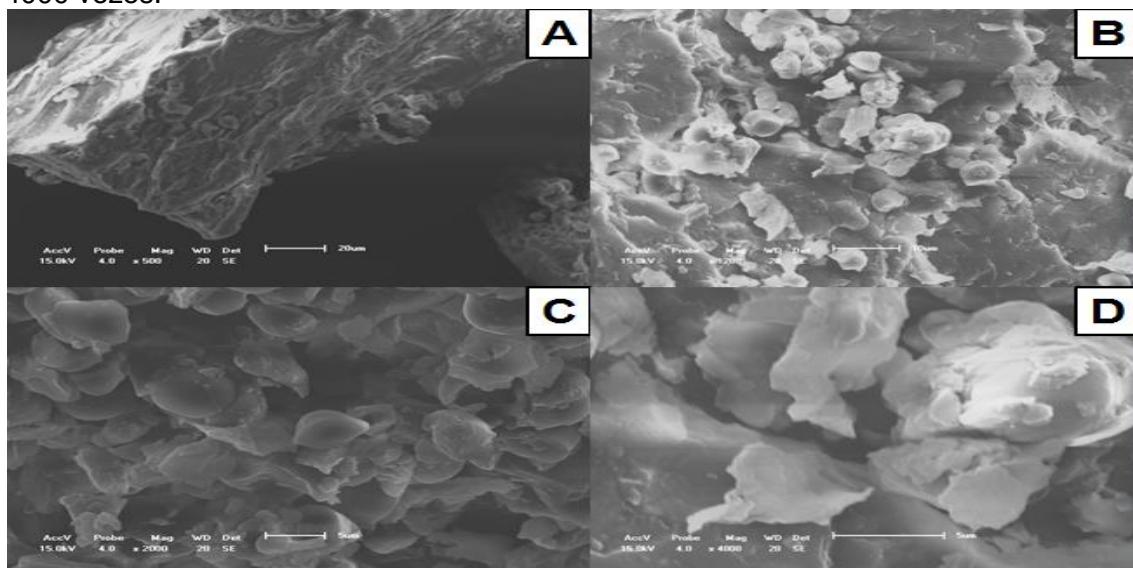
4.3.2 Endocarpo duro da *Artocarpus integrifolia L. f.*

A utilização do caroço da jaca duro (Endocarpo duro) como bioabsorvente natural.

4.3.2.1 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) do BEDS

Observando os resultados adquiridos através do MEV para o resíduo sólido endocarpo duro (Caroço) da Jaca com granulação de 1,41 mm, sem tratamento químico e com ampliação de 500 vezes (Figura 15A) e 1200 vezes (Figura 15B), constata-se uma superfície formada por presença de agrupamentos de cristais indefinidos e não uniformes.

Figura 15 - Micrografias de varreduras do BEDS. A) com ampliação de 500 vezes; B) com ampliação de 1200 vezes; C) com ampliação de 2000 vezes; D) com ampliação de 4000 vezes.



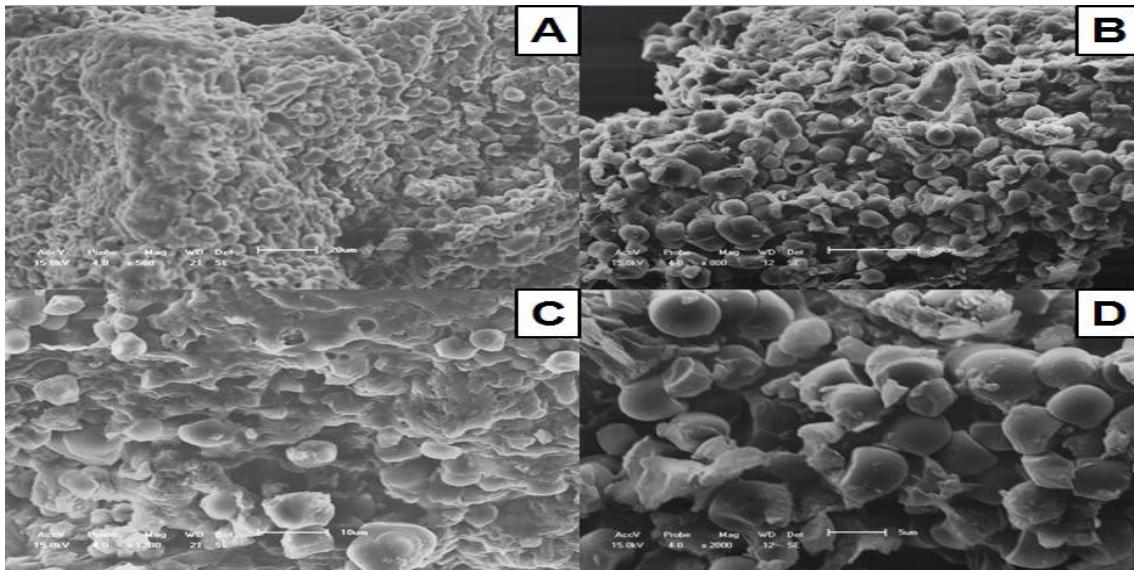
Fonte: O Autor

Para as ampliações 2000 vezes (Figura 15C) e 4000 vezes (Figura 15D), a observação dos aglomerados de cristais indefinidos e não uniformes é confirmada. A necessidade de aprofundar esta pesquisa promoveu o estudo do efeito do tratamento químico nas características físico-químicas do BED (endocarpo duro da jaca).

4.3.2.2 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) do BEDC

As micrografias eletrônicas de varredura do endocarpo duro com tratamento químico (TAA), com ampliação de 500 vezes (Figura 16A) e 800 vezes (Figura 16B) mostram aglomerados de cristais na forma aproximando a cúbica e tamanho irregular, resultados que corroboram com os dados de outros autores tais como: Long *et al.* (2012); Wu *et al.* (2013); Xu *et al.* (2013); e Ge, Qin, Li (2016).

Figura 16 - Micrografias de varredura do BEDC. A) com ampliação de 500 vezes; B) com ampliação de 800 vezes; C) com ampliação de 1200 vezes; D) com ampliação de 2000 vezes.

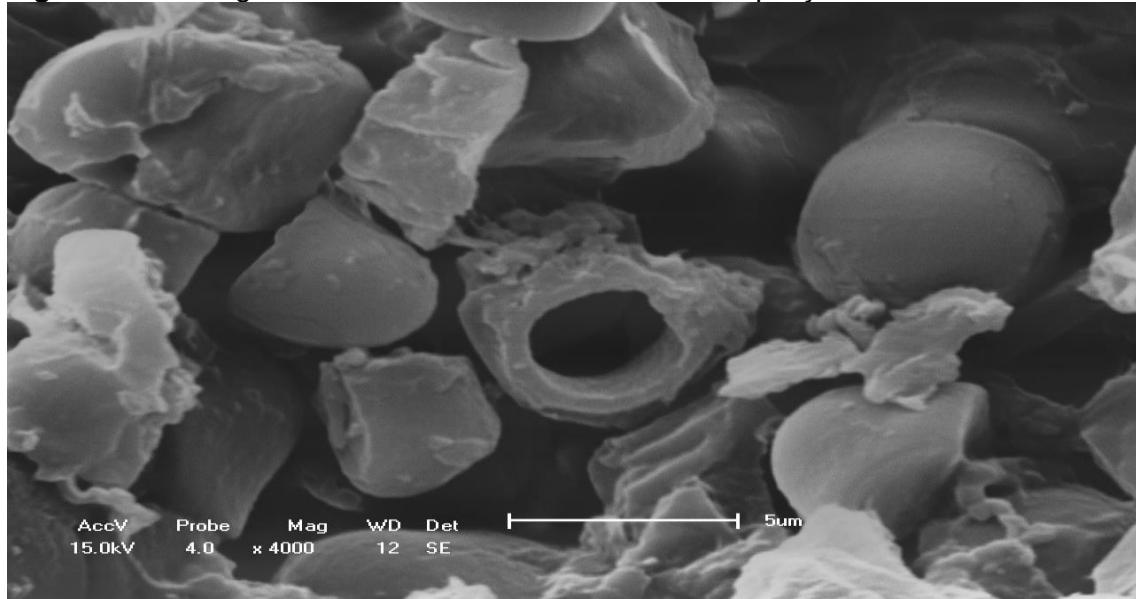


Fonte: O Autor

A confirmação da presença de cristais bem definidos em forma aproximando a cúbica e de diferentes tamanhos na constituição do endocarpo duro (BEDC) com tratamento ácido acético (TAA) é feita com as micrografias de varredura com ampliações de 1200 vezes (Figura 16C) e 2000 vezes (Figura 16D).

Analizando as micrografias eletrônicas de varredura do produto natural do BEDC (endocarpo duro com tratamento químico), obtidas com ampliações de 4000 vezes (Figura 17), estas identificam crateras e superfície irregulares.

Figura 17 - Micrografias de varreduras do BEDC com ampliação de 4000 vezes.

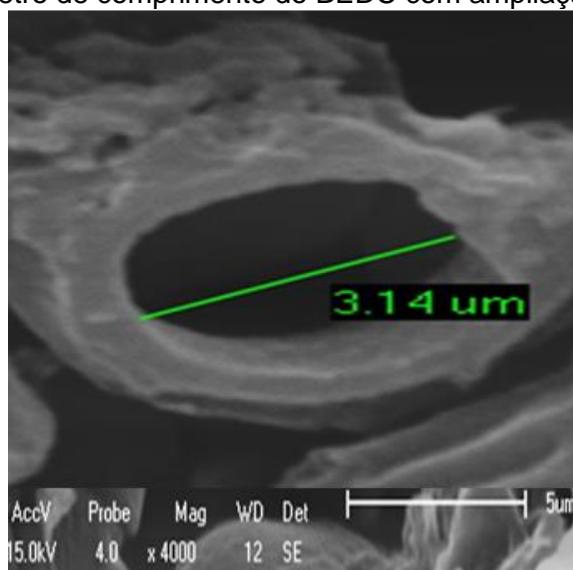


Fonte: O Autor

4.3.2.3 Diâmetro de comprimento do BEDS e BEDC com ampliação de 4000 vezes

Através das micrografias eletrônicas de varreduras com ampliação de 4000 vezes (Figura 18), foi analisado o diâmetro do comprimento do Endocarro duro com Tratamento com ácido acético. A avaliação do diâmetro de uma cratera representativa da porosidade do material BEDC apresentou um valor uma valor de $3,14 \mu\text{m}$, tamanho que torna possível, a difusão e a adsorção de eventuais metais pesados.

Figura 18 - Diâmetro de comprimento do BEDC com ampliação de 4000 vezes.



Fonte; O Autor

4.3.2.4 Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR) para BEDS e BEDC

Os espectros no Infravermelho do BEDS e BEDC (Figura 19) apresentam as bandas encontradas no endocarpo duro sem tratamento (BEDS) e com tratamento (BEDC).

Figura 19 - Espectros no Infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) para BEDS e BEDC.



Fonte: O Autor

Na Figura 19 observa-se também a formação de bandas entre as faixas 3000 a 3500 cm⁻¹, devido ao estiramento do grupamento OH (Forte) proveniente de água adsorvida nos materiais (RAMOS, 2012). Segundo os autores Silverstein; Webster; Kiemle, (2010), no estiramento 1600-1800 cm⁻¹, resultante das bandas C=O (Forte). Referendado pelos os autores (BARROS; SOUZA, 2010; SILVERSTEIN; WEBSTER; KIEMLE, 2010), presença de resíduos orgânicos indicados provavelmente pelos os estiramentos nas faixas de 2840-3000 do C-H.

Pode-se considerar os resultados bastante satisfatórios, respaldando a utilização do endocarpo duro com tratamento (BEDC), no processamento de bioadsorção de metais pesado, em caráter preliminar, ou seja, de forma investigativa.

4.4 APLICAÇÃO DO ENDOCARPO DURO NA BIOADSORÇÃO DE METAL PESADO Fe³⁺

É apresentado neste capítulo o conjunto dos resultados obtidos da análise quantitativa das soluções de Fe³⁺ com os seus respectivos parâmetros analíticos, da adsorção do Fe III pelo bioadsorvente BEDC com estudo da cinética e de equilíbrio de adsorção e modelagem desses fenômenos.

4.4.1 Solução de Nitrato de ferro III (ICO) Nona hidratado

Foram avaliados os parâmetros analíticos: máximo, mínimo, coeficientes de variância (CV), desvio padrão relativo (DPR), limite de quantificação (LQ) e limite de detecção (LD) da solução de Nitrato de ferro III (ICO) Nono hidratado – [Fe(NO₃)₃.9H₂O] a 20.000 mg/L. Tabela 18 apresenta os resultados.

Tabela 18 - Resultados dos parâmetros analíticos da solução de Nitrato de ferro III (ICO) Nono hidratado

MÉDIA	MÁX.	MÍN.	DPR	CV	G>	G<	LD	LQ
0,243	0,243	0,242	0,0003	0,121	1,135	1,588	0,0003	0,0008
0,573	0,580	0,570	0,003	0,598	1,830	1,001		
1,306	1,310	1,300	0,003	0,249	1,210	1,770		
2,075	2,080	2,071	0,003	0,144	1,743	1,162		
2,874	2,877	2,871	0,002	0,076	1,349	1,666		
3,441	3,495	3,404	0,03	0,940	1,659	1,164		
4,045	4,083	4,016	0,02	0,488	1,907	1,486		

G<=Grubb's menor; G>=Grubb's maior; DPR (Desvio Padrão Relativo); CV (Coeficientes de Variância) Limite de Quantificação (LQ) e Limite de Detecção (LD); MÁX (Máximo); MÍN (Mínimo).

Fonte: O Autor

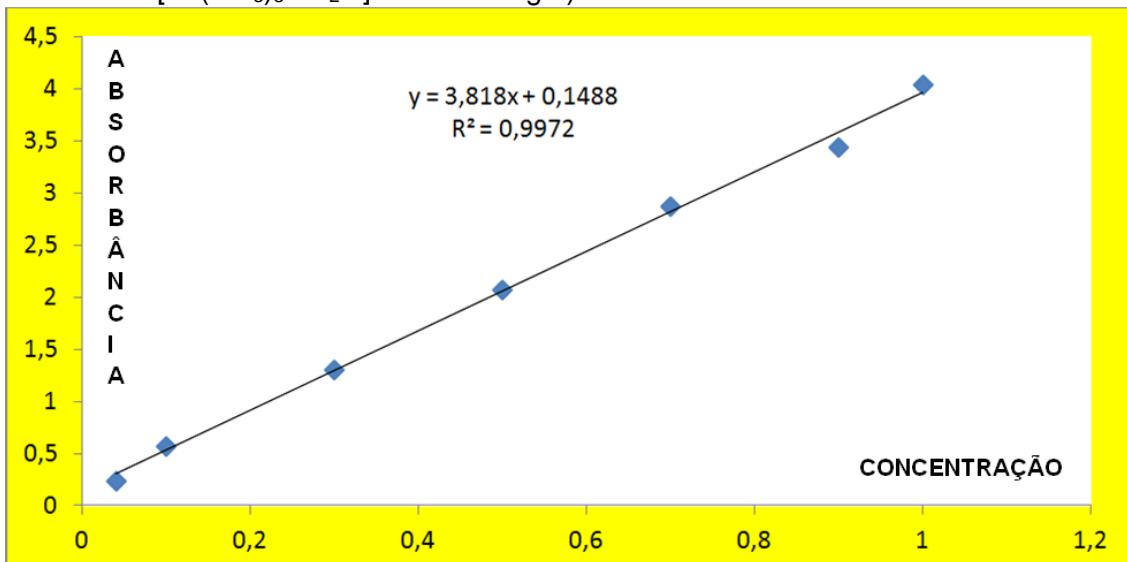
4.4.1.1 Parâmetros avaliados

A metodologia espectrofotométrica proposta para a quantificação de ferro mostrou-se sensível, específica, precisa e linear na faixa de trabalho sendo adequada para determinar a concentração de ferro após a submissão ao bioadsorvente (BEDC).

4.4.1.1.1 Análise da linearidade

Conforme A Figura 20 pode ser verificar um valor do coeficiente de determinação do respectivo composto (Fe^{3+}) R^2 de 0,9972 (Figura 20), obedecendo assim aos padrões exigidos pelo INMETRO (RIBANI *et al.*, 2004; LANÇAS, 2009).

Figura 20 - Curva de Calibração do Ferro III (Solução de Nitrato de ferro III (ICO) Nono hidratado – $[\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}]$ a 20.000 mg/L).



Fonte: O Autor

4.4.1.1.2 Análise de precisão

Com base no resultado resumido na Tabela 21, verificou-se então que todos os valores encontrados para os coeficientes de variâncias (CV) ou desvio padrão relativos (DPR) das replicadas, nas duas faixas lineares e para o respectivo composto, foram aceitáveis. Segundo Horwitz e Albert (2006), um valor aceitável para o CV em até 20%, dependendo da complexidade das amostras em análises de traços ou impurezas, corroborando assim com diversos autores (SILVA *et al.*, 2010; SHABIR; BRADSHAW, 2011; ZAIDAN *et al.*, 2013; ZAIDAN *et al.*, 2014; SANTOS, 2015; PAWAR *et al.*, 2016).

4.4.1.1.3 Limite de Quantificação e Limite de Detecção

A Tabela 20 apresentam os resultados de Limite de Quantificação - LQ (0,00076) e LD (0,00025) para o composto analisado. De acordo com os dados apresentados na Tabela 21, verificou-se uma boa detectabilidade e quantitatividade da metodologia para o composto analisado, resultado respaldado por outros pesquisadores (Zaidan *et al.* 2013; Zaidan *et al.*, 2014; Nandasiria et al., 2016).

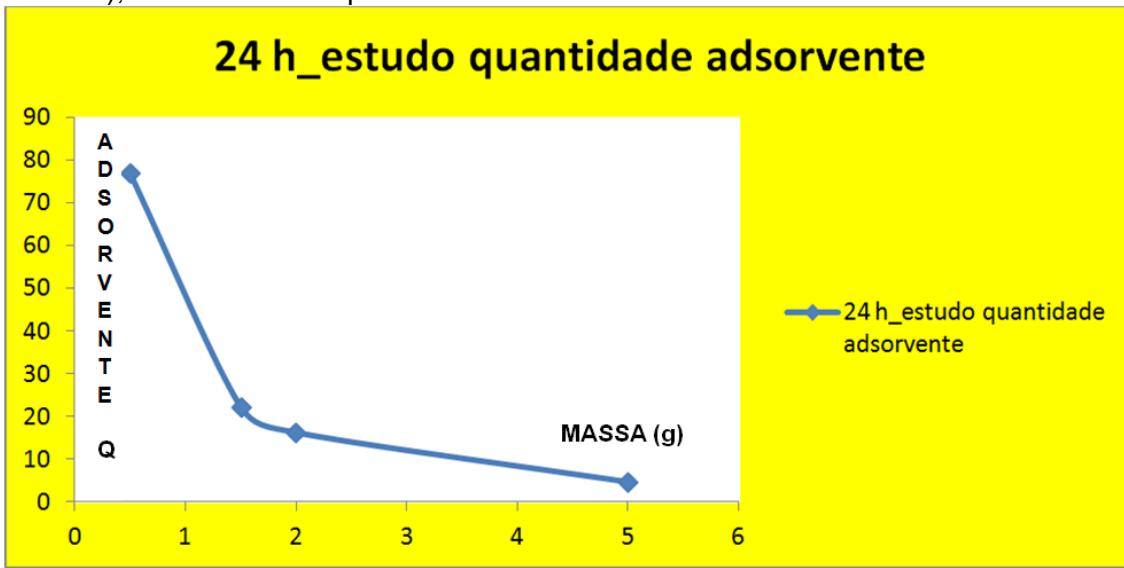
4.4.2 Aplicação do Bioadsorvente do endocarpo duro da *Artocarpus integrifolia L. f.* com TAA na adsorção de Fe³⁺

A conjugação entre os planejamentos experimentais e as experiências preliminares levou à identificação das influências de variáveis operacionais sobre a adsorção de Ferro (Nitrato de ferro III (ICO) Nono hidratado) pelo bioadsorvente BEDC preparado a partir do endocarpo duro com tratamento com ácido acético a 100 g/L. São apresentados, a seguir, os resultados dos estudos de adsorção de F³⁺ em soluções aquosas pelo bioadsorvente BEDC, com quantificação do efeito da massa do bioadsorvente, do tempo operacional, da cinética e do equilíbrio de adsorção com as suas respectivas modelagens.

4.4.2.1 Efeito da massa do bioadsorvente

Tomando-se o tempo de operação de 24 h, foi avaliado o efeito da massa do bioadsorvente sobre o equilíbrio de adsorção do Fe³⁺ pelo BEDC nas condições operacionais seguintes: C₀=2% (percentagem mássica), temperatura T=23±1 °C, volume do líquido=25 mL. Os resultados se encontram resumidos na Tabela (2B) do apêndice A e apresentados na Figura 21. Constatase que na massa de bioadsorvente em torno de 1g ocorram as maiores variações da quantidade de ferro III adsorvida. Com este resultado, foi tomada a massa de 1g de adsorvente para analisar os tempos operacionais de adsorção, elaborar as curvas de cinética e de equilíbrio de adsorção.

Figura 21 - Análise do efeito da massa do bioadsorvente sobre a adsorção do sistema Fe^{3+} /BEDC, para as condições operacionais seguintes: $V=25 \text{ mL}$; $C_0=2\%$ (percentagem mássica); $T=23\pm1^\circ\text{C}$ e tempo máximo de contato 24 horas.

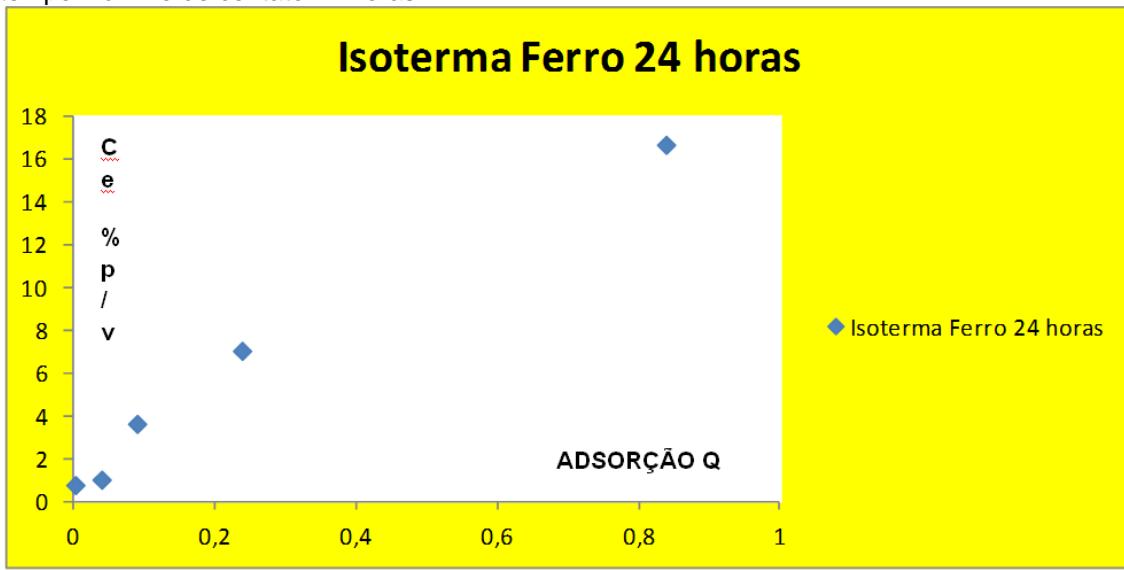


Fonte: O Autor

4.4.2.2 Efeito do tempo operacional

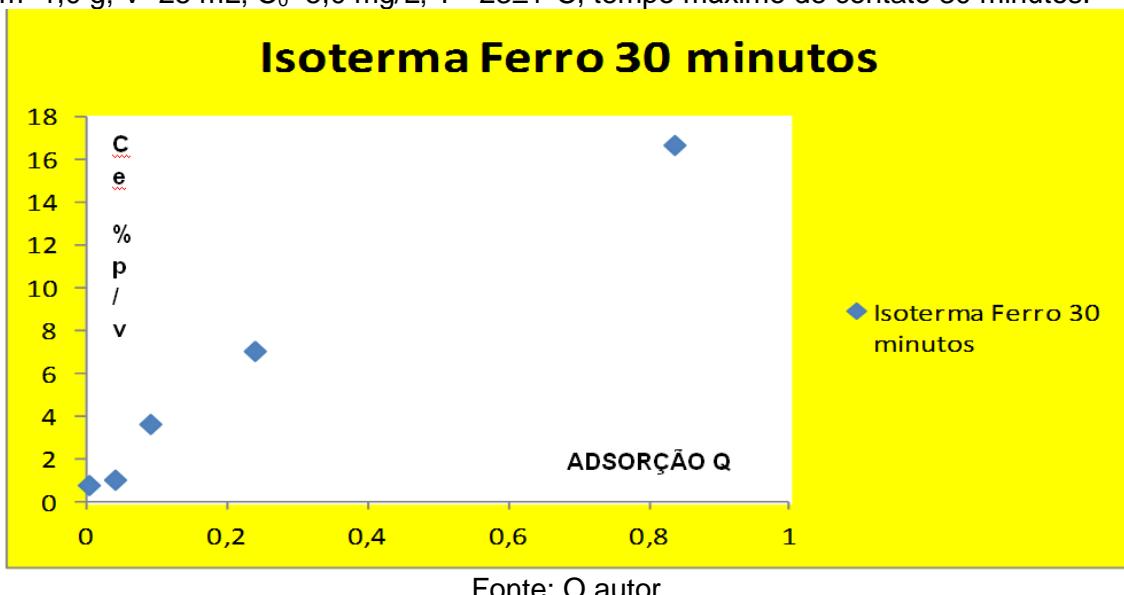
Procurando-se a obtenção de equilíbrio de adsorção, foram usados tempos operacionais até 24 horas, a temperatura de $23\pm1^\circ\text{C}$ e massa de adsorvente de 1 g, e concentração inicial de Fe^{3+} na fase aquosa variando de 2.000 mg/L a 50.000 mg/L Os resultados estão resumidos na Tabela 1A de apêndice (A) e apresentados na Figura 22.

Figura 22 - Curva da Isoterma do Fe^{3+} /BEDC; $m=1,0 \text{ g}$; $V=25 \text{ mL}$; $C_0=5,0 \text{ mg/L}$; $T= 23\pm1^\circ\text{C}$, tempo máximo de contato 24 horas.



Fonte: O Autor

Figura 23 - Curva da Isoterma do Fe³⁺/BEDC para as condições operacionais seguintes: m=1,0 g; V=25 mL; C₀=5,0 mg/L; T= 23±1°C, tempo máximo de contato 30 minutos.



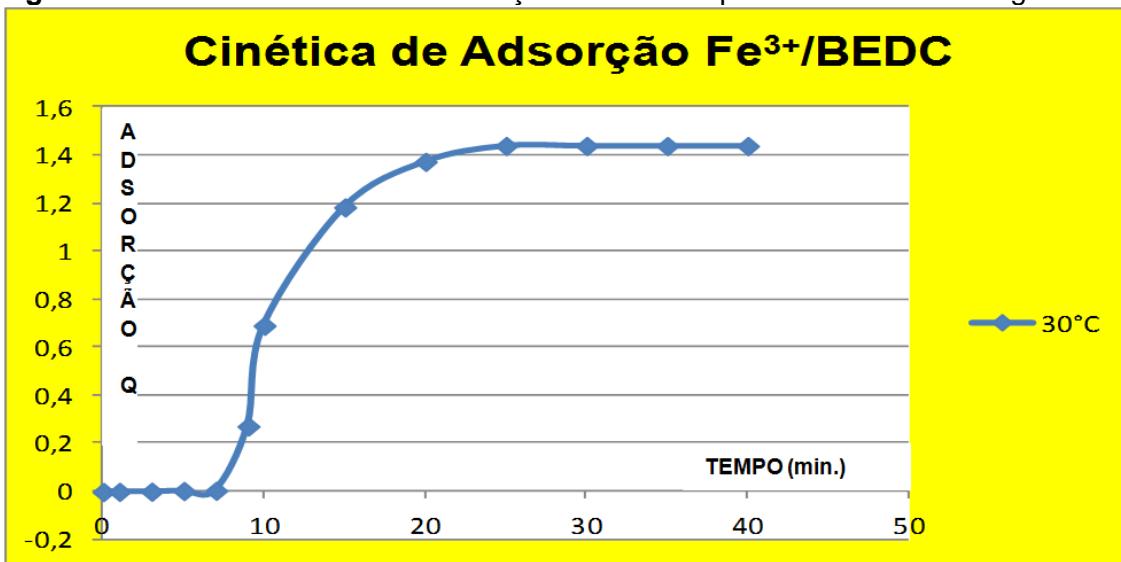
Fonte: O autor

Visando-se a redução do tempo operacional de obtenção de equilíbrio de adsorção, diminui-se a duração do ensaio para 30 min. Os resultados estão listados na Tabela (2A) e apresentados na Figura 23. Observa-se que um tempo de 30 minutos é suficiente para alcançar praticamente a mesma curva de equilíbrio de adsorção obtida no período de 24 horas (Figura 22), sendo então não necessário de operar com tempos maiores que 30 minutos para estudo cinético e de equilíbrio de adsorção do Ferro III pelo bioadsorvente (Figura 23).

4.4.2.3 Cinética de adsorção Fe³⁺/BEDC

Para estudo de cinética de equilíbrio de adsorção de ferro III sobre o bioadsorvente, operou-se com a massa de BEDC de 1g, temperatura de 30±1 °C, concentração de ferro na água de 2% (percentagem mássica) e para tempos de até 30 min. Os resultados estão listados na Tabela (1A) do Apêndice A e apresentados na Figura 24 que caracteriza a curva de cinética de adsorção Fe³⁺/BEDC.

Figura 24 - Curva de Cinética de adsorção Fe^{3+} /BEDC para $T=23\pm1^\circ\text{C}$ e $m=1\text{g}$.



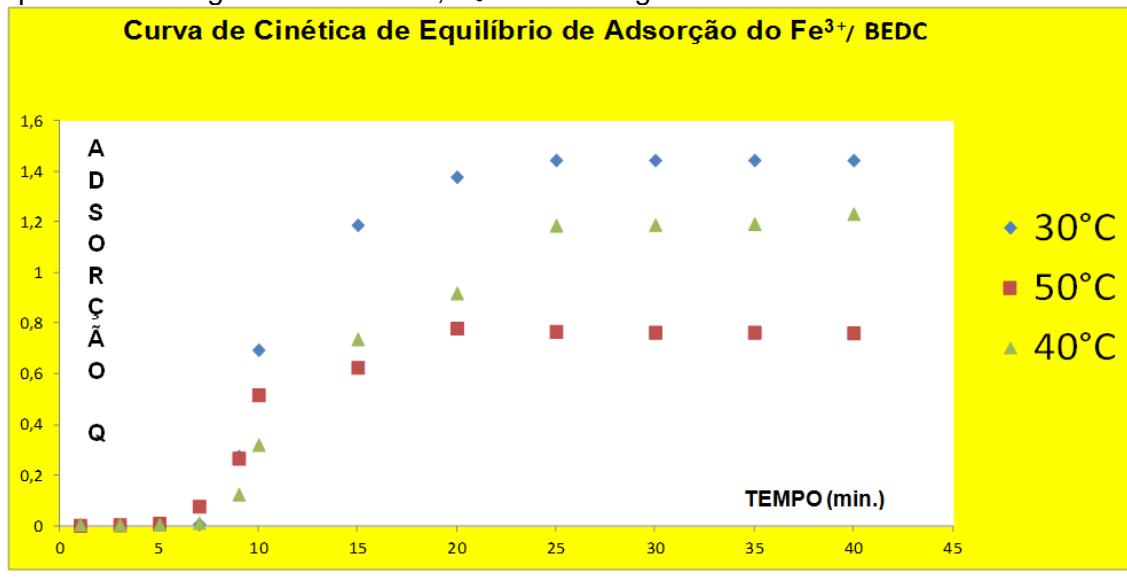
Fonte: O Autor

Analizando a Figura 24, evidencia-se de fato o tempo de 30min é tempo de equilíbrio de adsorção do Fe^{3+} sobre BEDC na temperatura ambiente ($30\pm1^\circ\text{C}$), sendo a massa do bioadsorvente de 1g.

4.4.2.3.1 Efeito da Temperatura sobre a Cinética de Adsorção

Procurando-se a quantificar o efeito da temperatura foram realizados ensaios de cinética de adsorção com duas outras temperaturas: 40 e 50 °C. Os resultados estão resumidos nas Tabelas 2A e 3A do Apêndice A e registrados na Figura 25. Nota-se que as quantidades adsorvidas de Fe III com tempo têm a diminuir à medida que se aumenta a temperatura, indicando que a adsorção de ferro III pelo bioadsorvente BEDC pode ser do tipo física (fissorção). Tal comportamento foi observado também por diferentes pesquisadores no estudo da adsorção metais pesados sobre diferentes adsorventes naturais: (ISLAM; RAHAMAN; YEUM, 2015; NANDASIRIA et al, 2016; PAWAR et al, 2016; JOHARI et al, 2016).

Figura 25 - Curva de cinética de equilíbrio de adsorção do Fe^{3+} pelo BEDC para diferentes temperaturas: $T=30\pm1^\circ\text{C}$, $T=40\pm1^\circ\text{C}$ e $T=50\pm1^\circ\text{C}$, sendo as condições operacionais seguintes: $V=25\text{ mL}$, $C_0=2\%$ e $m=1\text{ g}$.

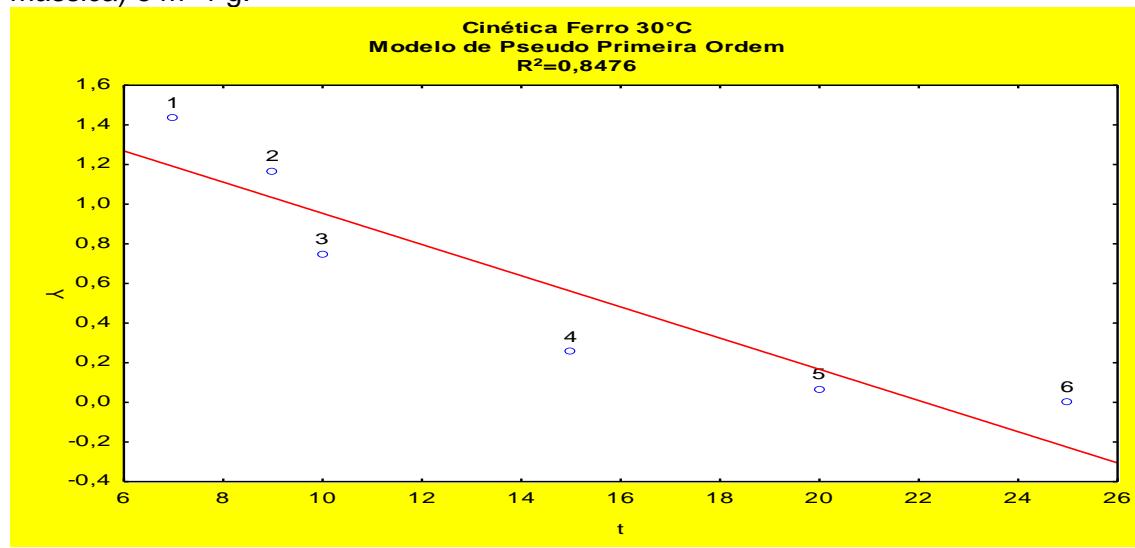


Fonte: O Autor

4.4.2.3.2 Modelagem da Cinética de adsorção

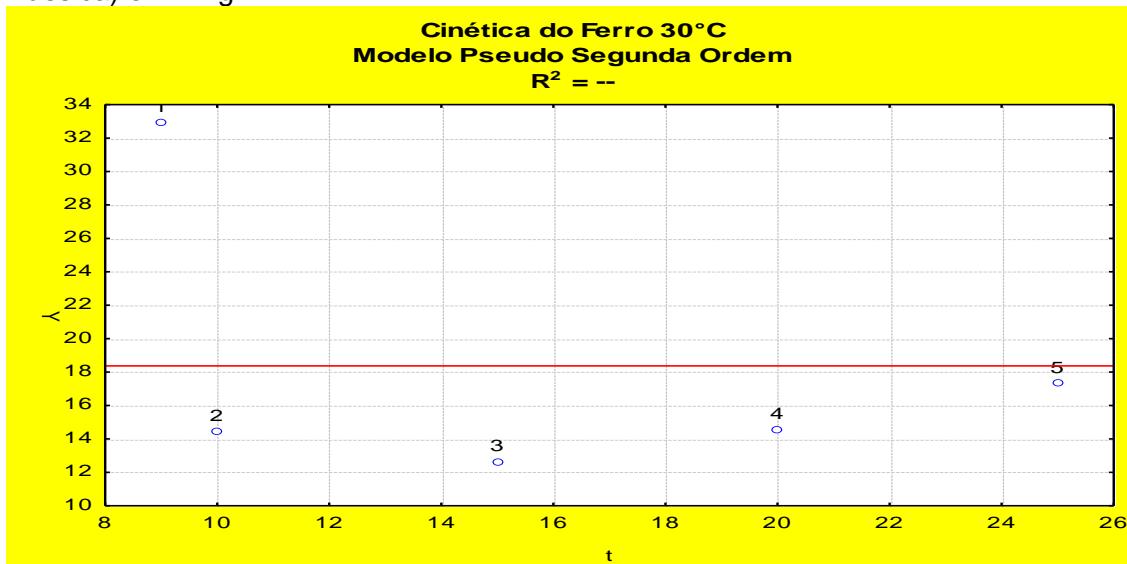
Visando a modelagem da cinética de adsorção $\text{Fe}^{3+}/\text{BEDC}$, foram aplicadas três modelagens cinéticas usuais: primeira ordem (Equação 1.), segunda-ordem (equação 2) e regime difusional (Equação 3.). Os resultados estão apresentados nas Figuras 1, 2 e 3, respectivamente.

Figura 26 - Ajuste do Modelo Cinético de Pseudo - Primeira Ordem para apresentação dos resultados experimentais de adsorção Fe^{3+} pelo BEDC em função do tempo para as condições operacionais seguintes: $T=30\pm1^\circ\text{C}$, $V=25\text{ mL}$, $C_0=2\%$ (percentagem mássica) e $m=1\text{ g}$.



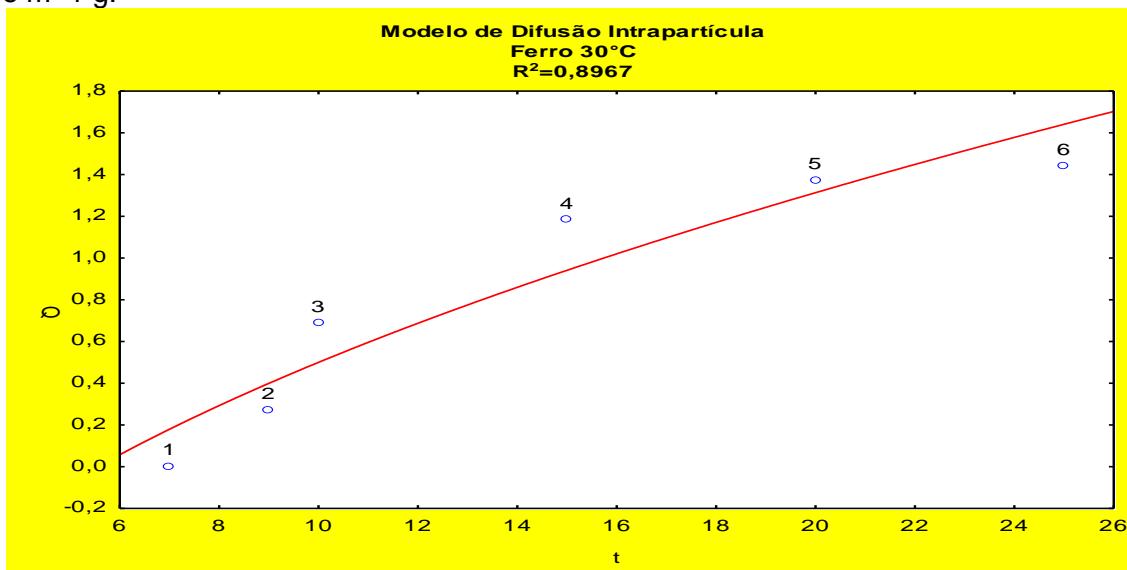
Fonte: O Autor

Figura 27 - Ajuste do Modelo Cinético de Pseudo - Segunda Ordem para apresentação dos resultados experimentais de adsorção Fe^{3+} pelo BEDC em função do tempo, para as condições operacionais seguintes: $T=30\pm1^\circ\text{C}$, $V=25 \text{ mL}$, $C_0=2\%$ (percentagem mássica) e $m=1 \text{ g}$.



Fonte: O Autor

Figura 28 - Ajuste do Modelo Cinético de Difusão Intraparticular para apresentação dos resultados experimentais de adsorção Fe^{3+} pelo BEDC em função do tempo, para as condições operacionais seguintes: $T=30\pm1^\circ\text{C}$, $V=25 \text{ mL}$, $C_0=2\%$ (percentagem mássica) e $m=1 \text{ g}$.



Fonte: O Autor

A Tabela 19 apresenta os parâmetros dos três Modelos cinéticos de ajuste.

Tabela 19 - Os Parâmetros dos Modelos Cinéticos da Adsorção

Pseudo-Primeira	Pseudo-Segunda	Difusão
Ordem	Ordem	Intraparticular
$R^2= 0,8476$	$R^2= ---$	$R^2= 0,8967$
$q_{ec}= 55,11$	$q_{ec}= 5469,73$	$Kd= 0,620$
$K_1= 0,181$	$K_2= 0,0$	$Cd= -1,463$

Fonte; O Autor

Baseando-se na leitura das curvas de modelo em comparação aos resultados experimentais (Figuras 26, 27 e 28) com análise do valor do coeficiente de determinação R^2 , o modelo de difusão intraparticular representa melhores os resultados experimentais obtidos em comparação aos demais modelos testados. Tal fato foi observado também por outros autores (SEM; GOMEZ, 2011; SANTOS, 2015) para a remoção de Zn por casca de laranja, onde a difusão intrapartícula também se mostrou presente.

4.4.2.3.3 Modelagem de Equilíbrio de adsorção

Para ajuste dos resultados experimentais da concentração adsorvida de Fe^{3+} pelo bioadsorvente (qe) em função da concentração de equilíbrio de Fe^{3+} na fase líquida (Ce), foram adotados três modelos usuais: Langmuir, Freundlich e Langmuir-Freundlich. Os resultados de ajuste estão apresentados nas Figuras 29, 30 e 31, respectivamente (Tabela 20).

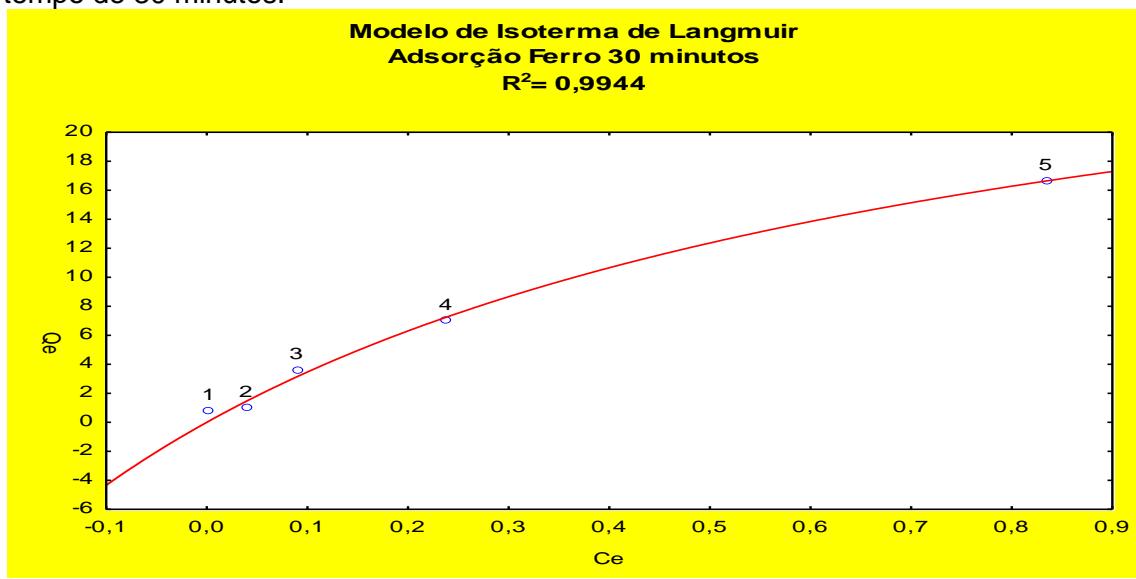
Tabela 20 - Os Parâmetros do Equilíbrio de Adsorção

LANGMUIR	FREUDLINCH	LANGMUIR-FREUGLINCH
$Qm= 34,48$	$Kf= 19,043$	$Qm= 42,85$
$K= 1,117$	---	$K= 0,722$
---	$n= 1,39$	$n= 1,09$
$R^2= 0,9946$	$R^2= 0,9934$	$R^2= 0,9944$

Fonte: O Autor

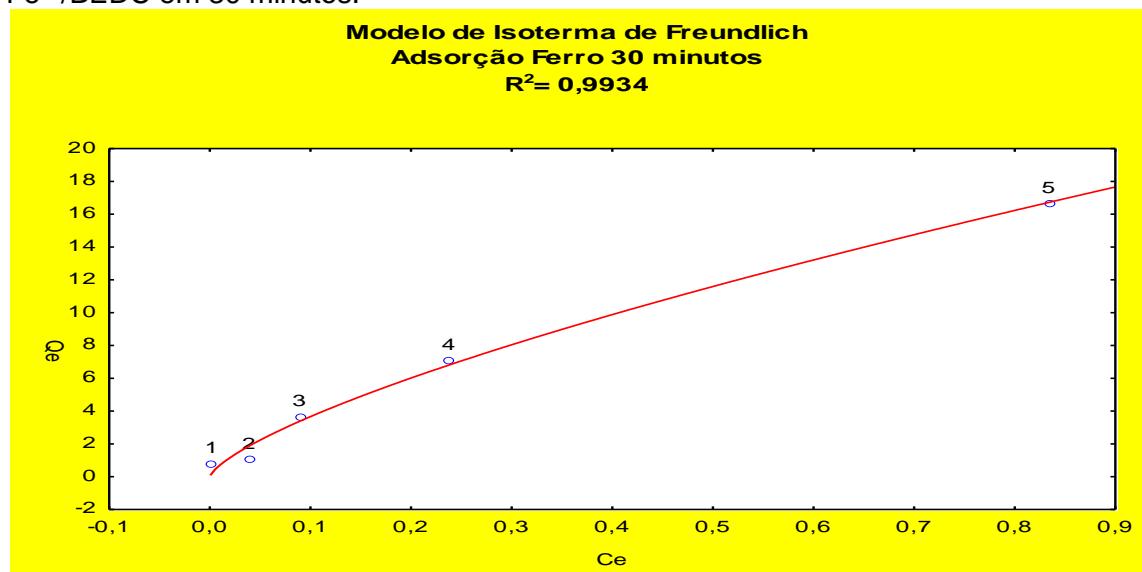
Os três modelos parecem ajustar satisfatoriamente os resultados experimentais. O modelo de Langmuir $R^2= 0,9946$ (Figura 29) envolve a existência de sítios de adsorção de energia uniformemente distribuída enquanto ao de Freudlich $R^2= 0,9934$ (Figura 30) pressupõe a existência de uma superfície sólida heterogênea. Baseando-se sobre a observação das de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) (Figuras 22 e 23), a superfície apresenta uma distribuição praticamente uniforme do bioadsorvente BEDC, o que reforça a hipótese que a isoterma de equilíbrio $\text{Fe}^{3+}/\text{BEDC}$ tende a responder ao modelo de *Langmuir*.

Figura 29 - Modelo de Isoterma de *Langmuir* aplicado para Adsorção do $\text{Fe}^{3+}/\text{BEDC}$, para as condições operacionais seguintes: $T=30^\circ\text{C}$, $V=25\text{mL}$ e tempo de 30 minutos.



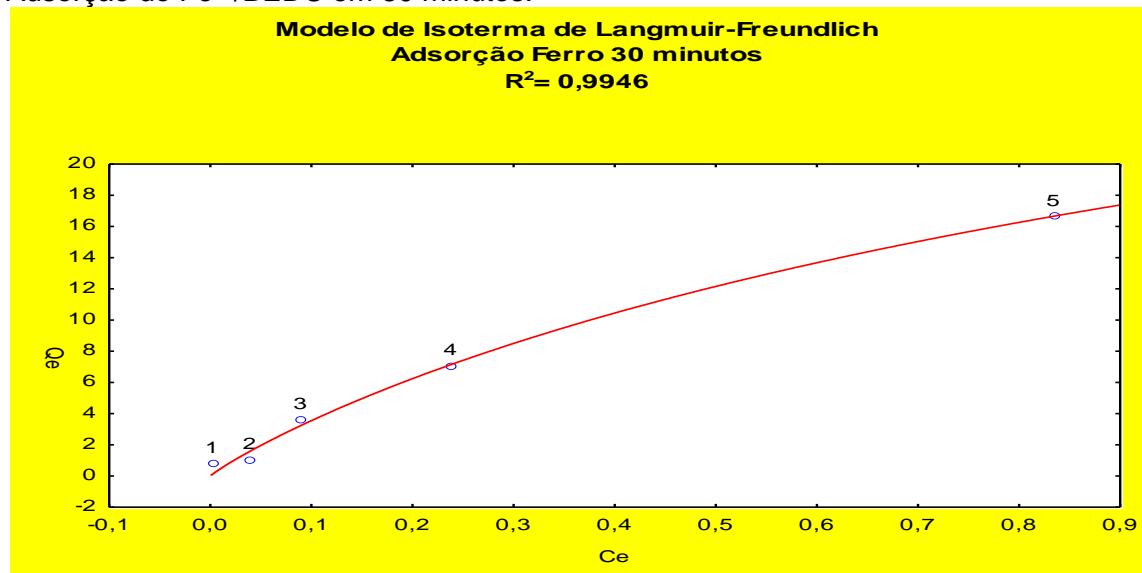
Fonte: O Autor

Figura 30 - Gráfico do Modelo de Isoterma de Freundlich para Adsorção do Fe^{3+} /BEDC em 30 minutos.



Fonte: O Autor

Figura 31 - Gráfico do Modelo de Isoterma de Langmuir - Freundlich para Adsorção do Fe^{3+} /BEDC em 30 minutos.



Fonte: O Autor

5 CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

Resultados constatados durante todo os processos aplicados nesta pesquisa.

5.1 DESIDRATAÇÕES OSMÓTICAS DO GOMO E ENDOCARPO DURO DA JACA

✓ Para o Gomo da Jaca

- Com o Planejamento Delineamento Fracionário 2^{7-2} constatou-se que:
 - I. O melhor processamento foi o ensaio 3 (IED= 33,88; PU= 69,8% e IS= 2,06%);
 - II. Em relação ao agente osmótico a glicose teve efeito significativo sobre a PU e o IED. A sacarose teve sobre a IS.
- Planejamento Fatorial 2^3 completo evidenciou-se:
 - I. O melhor processo foi o ensaio 5 (IED= 13,47; PU= 64,79% e IS= 4,81%);
 - II. A PU sofreu influência da Temperatura;
 - III. Os modelos não tiveram bom ajuste aos dados experimentais.

Para o Endocarpo duro da Jaca

- Com o Planejamento Delineamento Fracionário 2^{7-2} constatou-se que:
 - I. O melhor processo foi o Ensaio 6 (IED= 13,47; PU= 64,79% e IS= 4,81%);
 - II. A Glicose teve efeito significativo sobre a PU e o IED.
 - III. O IED sofreu influência da Temperatura, da concentração osmótica e do Agente osmótico.
 - IV. A IS sofreu influenciada temperatura.
- Planejamento Fatorial 2^3 completo constatou-se:
 - I. A PU, IS e IED não apresentaram influência de nenhuma das variáveis independentes T, C e t ;
 - II. Os modelos não tiveram bom ajuste aos dados experimentais.
- ✓ Os Produtos Processados (Gomo e Endocarpo duro da Jaca)
 - I. Aumento do valor energético em relação ao “in natura”;

- II. Encontram-se dentro dos padrões de microbiologia determinados pela RDC 12/2001 da ANVISA;
- III. A PU e IS foram maiores nas duas primeiras horas (44°Brix e 50°Brix);
- IV. O Equilíbrio foi alcançado em 7h para PU e 5h para IS.

5.2 PRODUÇÕES DA FARINHA E BISCOITOS DO ENDOCARPO DURO DA JACA

- ✓ Todos os Biscoitos foram aprovados (B15 = 82%; B25% = 72% e B50 = 72%) no Teste de Aceitação geral com médias acima de sete;
- ✓ A produção dos biscoitos a partir da substituição parcial da farinha de trigo pela farinha do endocarpo duro torna-se viável, sendo uma nova alternativa de um novo produto com agregação de valores nutricionais e organolépticos.

5.3 PRODUÇÃO DOS BIOADSORVENTES DOS RESÍDUOS SÓLIDOS INVÓLUCROS EXTERNOS E ENDOCARPOS DUROS DA JACA

- ✓ Com base na análise do infravermelho (FTIR) a não alterações das bandas para ambos os produtos (BEDS e BEDC), indica que o tratamento foi eficiente, pois provocou o aumento dos poros sem alterações das bandas.
- ✓ O Bioadsorvente do endocarpo duro com tratamento (BEDC) apresentou aumento nos poros bastante significante (MEV).
- ✓ Diante das análises apresentadas (MEV e Infravermelho), pode-se ocorre na utilização do BEDC na adsorção de metais pesados.

5.4 APLICAÇÃO DO BIOADSORVENTE DO ENDOCARPO DURO NA ADSORÇÃO DE METAL PESADO Fe³⁺

Nas condições que esta pesquisa foi desenvolvida, constatou-se:

- A análise do efeito da massa do BEDC mostrou que um valor em torno de 1g ocorreram as maiores variações da quantidade de ferro III adsorvida;

- O estudo do efeito do tempo operacional, observou-se que um tempo de 30 minutos foi suficiente para atingir as condições de equilíbrio de adsorção;
- A investigação do efeito da temperatura sobre a cinética de adsorção evidenciou-se que as quantidades adsorvidas de Fe^{3+} com tempo têm a diminuir à medida que se aumenta a temperatura de 30°C até 50 °C, caracterizando-se assim um fenômeno de fissorção;
- A modelagem da cinética de adsorção com análise do valor do coeficiente de correlação R^2 , mostrou que o modelo de difusão intraparticular representa satisfatoriamente os resultados experimentais obtidos;
- A modelagem da isoterma de equilíbrio de adsorção do F^{3+} pelo BEDC apresentou o maior coeficiente de correlação R^2 (09946) quando se aplicou o modelo de *Langmuir*. Baseando-se sobre a observação das micrografias de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), a superfície apresenta uma distribuição superficial praticamente uniforme do bioadsorvente BEDC, o que reforça a hipótese que a isoterma de equilíbrio F^{3+} /BEDC tende a responder ao modelo de Langmuir.

5. 5 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestões para trabalhos de pesquisa futuros, pode-se citar:

- Realizar a desidratação ósmotica com outros agentes ósmoticos com envolvimento de outros tipos de planejamentos, com busca de uma compreensão melhor dos fenômenos da transferência de massa com quantificação dos coeficientes de difusão;
- Investigar os biscoitos dos endocarpos duros usando outras formulações (por exemplo: 45%, 55% e 65%) em substituição a farinha de trigo;
- Estudar a produção do carvão ativado a partir da casca e do caroço da jaca, aplicando-se estes carvões ativados na adsorção de F^{3+} e outros metais pesados (Pb^{3+} , Cr^{3+}).

REFERÊNCIAS

- ABRAÃO, A. S.; LEMOSA, A.M.; VILELA, A.; SOUSA, J. M.; NUNES, F. M. Influence of osmotic dehydration process parameters on the quality of candied pumpkins. **Food and Bioproducts Processing**. V. 91, p. 481–494, 2013.
- AHMAD, M.; AHMED, S.; SWAMI, B. L.; IKRAM, S. Preparation and characterization of antibacterial thiosemicarbazide chitosan as efficient Cu(II) adsorbent. **Carbohydrate Polymers**. V. 132, p.164–172, 2015.
- AMARAL, D. S.; DUARTE, M. E. M.; MATA, M. E. R. M. C.; PESSOA, T.; GURJÃO, F. F. Desidratação por imersão-impregnação em solução de sacarose e liofilização de coco maduro (*Cocos nucifera* Linn). **Revista Verde** (Mossoró – RN – Brasil), v.6, n.1, p. 101 – 106, janeiro/março de 2011.
- AMINZADEH, R.; SARGOLZAEI, J.; ABARZANI, M. Preserving Melons by Osmotic Dehydration in a Ternary System Followed by Air-Drying. **Food Bioprocess Technol.** v. 5, p.1305–1316, 2012.
- ANDRADE, S. A. C.; METRI, J. C.; BARROS NETO, B.; GUERRA, N. B. Desidratação osmótica do jenipapo (*Genipa americana* L.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 23, n. 2, p. 276-281, 2003.
- ANDRADE, S. A. C. et al. Evaluation of water and sucrose diffusion coefficients during osmotic dehydration of jenipapo (*Genipa Americana* L.). **Journal of Food Engineering**, v. 78, n. 2, p. 551-555, 2007.
- ANTONIO, G. C., KUROZAWA, L. E., XIDIEH MURR, F. E., PARK, K. J. Otimização da desidratação osmótica de batata doce (*Ipomoea batatas*) utilizando metodologia de superfície de resposta. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 9, n. 2, p. 135-141, abr.-jun. 2006.
- ANTONIO, G. C. ALVES, D. G., AZOUBEL, P. M. MURR, F. E. X., PARK, K. J. Influence of osmotic dehydration and high temperature short time processes on dried sweet potato (*Ipomoea batatas* Lam.). **Journal of Food Engineering**, v 84, p. 375-382, 2007.
- ANTONIO, G. C.; AZOUBEL, P. M.; MURR, F. E. X.; PARK, K. J. Osmotic dehydration of sweet potato (*Ipomoea batatas*) in ternary solutions. **Ciênc. Tecnol. Alimentos. Campinas**, 28(3): 696-701, jul.-set. 2008.
- AOAC. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists; **Agricultural Chemicals**; contaminants; Drugs; Fifteenth Edition, 2002.
- ARAÚJO, C. S. P.; ANDRADE, F. H. A.; GALDINO, P. O.; PINTO, M.S. C. Desidratação de batata-doce para fabricação de farinha. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v.11, n.4, p.33-41, 2015.
- AROUCHA, E. M. M.; SOUZA, M. S.; SOARES, K. M. P.; FILHO, J. C. A.; PAIVA, C. A. Análise físico-química e sensorial de água de coco em função de estádio

de maturação das cultivares de coco anão verde e vermelho; **Revista ACSA: Agropecuária Científica no Semiárido** – V. 10, n. 1, p. 33 - 38, jan – mar, 2014. ASCAR, J. M. Alimentos: Aspectos bromatológicos e legais. Análise percentual. São Leopoldo RS, Unisinos editora, v.01, 1985, p. 327.

ATARÉS, L.; CHIRALT, A.; GONZÁLEZ-MARTÍNEZ, C. Effect of solute on osmotic dehydration and rehydration of vacuum impregnated apple cylinders (cv. Granny Smith). **Journal of Food Engineering**, 89:49–56; 2008.

AZOUBEL, P. M.; EL-AQUAR, A. A. TONON, R. V.; KUROZAWA, L. E.; ANTONIO, G. C.; MURR, F. E. X; PARK, K. J. Effect of osmotic dehydration on the drying kinetics and quality of cashew apple. **International Journal of Food Science and Technology**, nº44, 980–986, 2009.

AZUARA, E.; BERISTAIN, C. L. “Osmotic dehydration of apples by immersion in concentrated sucrose/maltodextrin solution”, **Journal of Food Processing Preservation**, 26, 295-306 (2002).

AZUARA, E.; CORTÉS, R.; GARCIA, H. S.; BERISTAIN, C. I. Kinetic model for osmotic dehydration and its relationship with Fick's second law. **International Journal of Food Science and Technology**, 27, 409-418. 1992.

BARROS, S. O.; SOUZA, E. F. Utilização de esferas porosas de dióxido de titânio preparadas para a obtenção de nanocompostos na decomposição photocatalítica de corantes. **Anais do XV Encontro de Iniciação Científica da PUC-Campinas** - 26 e 27 de outubro de 2010. ISSN 1982-0178.

BASSETTO, R. Z.; SAMULAK, R.; MISUGI, C.; BARANA, A.; ROSSO, N. Produção de biscoitos com resíduo do processamento de beterraba (*Beta vulgaris L.*). **Revista Verde** (Mossoró – RN - Brasil), v. 8, n. 1, p. 139 - 145, jan/mar de 2013.

BELLARY, A. N.; SOWBHAGYA, H. B.; RASTOGI, N. K. Osmotic dehydration assisted impregnation of curcuminoids in coconut slices. **Journal of Food Engineering**. V. 105, p. 453–459, 2011.

BERBARI, S.A.G., ANJOS, V.D. Desidratação osmótica de pêsegos e função da temperatura e concentração do xarote de sacarose. **Revista brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, n.19, p.161-169, 2011.

BORIN, I, FRASCARELI, E. C.; MAURO, M. A.; KIMURA, M. Efeito do Tratamento Osmótico com sacarose e Cloreto de sódio sobre a Secagem Convectiva de Abóbora. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, nº 28, v.1, 39-50, 2008.

BRANDÃO, M. C. C. MAIA, G.A.; LIMA, D.S.P.; PARENTE, E.J.S.A.; CAMPELLO, C.C.; NASSU, R.T.; TEREZINHA FEITOSA, T.; SOUSA, P.H.M. Análise físico-química, microbiológica e sensorial de frutos de manga submetidos à desidratação osmótica solar. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.25, n.1, p.38-41, 2003.

BRASIL. Ministério da Agricultura, **Pecuária e Abastecimento (MAPA)**. **Instrução normativa n. 8, de 02 de julho de 2005**. Regulamento técnico de identidade e qualidade da farinha de trigo. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 3 jun. 2005.

BRASIL. Leis, decretos, etc. Decreto nº 12.486 de 20 de outubro de 1978. **Normas técnicas especiais relativas a alimentos e bebidas. Diário Oficial do Estado de São Paulo**, 21 out., p.20,1978. Disponível em: <<http://e5legis.anvisa.gov.br/leisref/public/showAct.php?id=18822&word=>>>. Acesso em: 25 de maio. 2015.

BRASIL. **Agência Nacional de Vigilância Sanitária 5 ANVISA**. Resolução nº 263, de 22 de setembro de 2005 – Regulamento Técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos. Disponível em: <<http://e5legis.anvisa.gov.br/leisref/public/showAct.php?id=18822&word=>>>. Acesso em: 05 de set. 2015.

BRASIL. Ministério da Agricultura, **Pecuária e Abastecimento (MAPA)**. Instrução Normativa n. 8, de 02 de junho de 2005. Regulamento técnico de identidade e qualidade da farinha de trigo. Diário Oficial da República, Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 3 jun. 2005.

CARBALLO, L. Introducción a la Catálisis Heterogénea. **Ed. UNAL**. Bogotá, 2002.

CORRÊA, J. L. G.; SILVA FILHO, E. D.; BATISTA, M. B.; AROLAS, F.; FIOREZES, R. Desidratação osmótica de tomate seguida de secagem; **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.10, n.1, p.35-42, 2008.

CORRÊA, J.L.G.; BATISTA, M.B.; COSTA, A.R.S.; BELO, F.A.; FIOREZE, R. Analysis of osmotic dehydration variables influences on tomato (*Licopersicon esculentum*) drying. **Boletim do Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos**, v.25, n.2, p. 315-328, 2007.

CÓRDOVA, K. R. V. Desidratação osmótica e secagem convectiva de maçã fuji comercial e industrial, **Dissertação**, p. 167, UFP, Curitiba, 2006.

CRANK, J.; **The Mathematics of Diffusion**. Second edition. London: Clarendon Press - Oxford. 1975.

DERMESONLOUOGLOU, E. K. TAOUKIS, P. S. Osmode hydro freezing of sensitive fruit and vegetables: Effect on quality characteristic and shelf life. 13th **World Congress of Food Science & Technology**. 2006.

DEROSSI, A.; DE PILLI, T.; SEVERINI, C.; MCCARTHY, M.J. Mass transfer during osmotic dehydration of apples. **Journal of Food Engineering**, 86:519–528, 2008.

DIONELLO, R. G.; BERBERT, P. A.; MOLINA, M. A. B.; PEREIRA, R. C.; VIANA, A. P.; CARLESSO, V. O. Desidratação osmótica de frutos de duas cultivares de abacaxi em xarope de açúcar invertido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, p.596-605, 2009.

EGEA, M. B.; BORSATO D.; SILVA, R. S. S. F.; YAMASHITA, F. Osmo-dehydrated functional product containing fructo-oligosaccharides: physical, chemical and sensorial characteristics. **Braz Arch Biol Technol.** 55 (6): 927-36, 2012.

EGEA, M. B.; SILVA; R. S. S. F.; YAMASHITA, F.; BORSATO, D. Optimizing dehydration of apples *Malus Domestica* with fructooligosaccharide incorporation. **Braz Arch Biol Technol.** 55 (5): 751-62; 2012.

EGEA, M. B.; LOBATO, L. P. A desidratação osmótica como pré-tratamento para frutas e hortaliças. **Rev Inst Adolfo Lutz**. São Paulo, 73(4):316-24; 2014.

ESCOBAR, M. P; GALINDO, F. G.; WADSÖ, L.; NÁJERA, J. R.; SJOHOLM, I. Effect of long-term storage and blanching pré-treatments on the osmotic kinetics of carrots (*Daucus carota* L. cv. Nerac). **Journal of Food Engineering**. v.81, n.1, p.313-317, 2007.

FALADE, K. O.; IGBEKA, J. C. Osmotic Dehydration of Tropical Fruits and Vegetables. **Food Reviews International**, v. 23, p.373–405, 2007.

FASOLIN, L. H. et al. Biscoitos produzidos com farinha de banana: avaliações química, física e sensorial. **Ciênc. Tecnol. Alim.**, v. 27, n. 3, p. 520-529, 2007.

FEDDEN, V.; DURANTE, V. V. O.; MIRANDA, M. Z.; MELLADO, M. L. M. S. Avaliação física e sensorial de biscoitos tipo cookie adicionados de farelo de trigo e arroz. **Braz. J. Food Technol.**, Campinas, v. 14, n. 4, p. 265-272, out./dez. 2011.

FERNANDES, F. A. N; RODRIGUES, S.; GASpareto, O. C. P.; OLIVEIRA, E. L. Optimization of osmotic dehydration of papaya followed by air-drying. **Food Research International**, 39:492–498, 2006.

FERRARI, C. C.; YASSUI, P. Y.; CARMELLO-GUERREIRO, S. M.; HUBINGER, M. D. Propriedades mecânicas e estrutura celular de melão desidratado osmoticamente em soluções de sacarose ou maltose, com adição de lactato de cálcio. **Ciênc. agrotec., Lavras**, v. 35, n. 4, p. 765-773, jul./ago., 2011.

GARCIA, C. C.; MAURO, M. A.; KIMURA, M. Kinetics of osmotic dehydration and air-drying of pumpkins (*Cucurbita moschata*). **Journal of Food Engineering**, Essex, England, v. 82, n. 3, p. 284-291, 2007.

GE, Y.; QIN, L.; LI, Z. Lignin microspheres: An effective and recyclable natural polymer-basedadsorbent for lead ion removal. **Materials and Design**. V 95, P 141–147, 2016.

GERMER, S. P. M.; QUEIROZ, M. R.; AGUIRRE, J. M.; BARBOSA, W.; BERBARI, S. A.; SIGRIST, J. M. M.; QUAST, E. Aptidão de cultivares de pêssego do Estado de São Paulo para a produção de passas por processo combinado de secagem osmótica e secagem com ar quente. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.10, p.151-158, 2007.

GERMER, S. P. M.; QUEIROZ, M. R.; AGUIRRE, J. M.; BERBARI, S. A. The influence of process variables on the osmotic drying and on sensory tests of sliced dehydrated peaches. In: **International Conference of Agricultural Engineering, Brazilian Congress of Agricultural Engineering**, 37, Foz do Iguaçú. Anais...Foz do Iguaçu: SBEA/CIGR/ASABE. CD Rom. 2008.

GERMER, S. P. M.; QUEIROZ, M. R.; AGUIRRE, J. M.; BERBARI, S. A. G.; ANJOS, V. D. Desidratação osmótica de pêssegos em função da temperatura e concentração do xarope de sacarose. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. V.15, n.2, p.161–169, 2011.

GERMER, S. P. M., QUEIROZ, M. R., AGUIRRE, J. M., BERBARI, S. A., SILVEIRA, N. F. A. Reuse of Sucrose Syrup in the Osmotic Dehydration of Peaches. **Dry Technol.** 30(14):1532-40; 2012.

Gil, Gilberto; Letra da poema copo vazio; www.letras.mus.br/gilberto-gil/574305/; acesso em 02/02/2016.

GOMES, A. T.; CEREDA, M. P.; VILPOUX, O. Desidratação Osmótica: uma tecnologia de baixo custo para o desenvolvimento da agricultura familiar. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, v. 3, n. 3, p. 212-226, 2007.

GONÇALVES, A. A.; BLUME, A. R. Efeito da desidratação osmótica como tratamento preliminar na secagem do abacaxi. **Estudos tecnológicos - Vol. 4, nº 2:124-134;** 2008.

GUTKOSKI, L. C. et al. Efeito do teor de amido danificado na produção de biscoitos tipo semi-duros. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 1, p. 119-124, 2007.

HO, S. Y.; McKAY, G. Sorption of dye from aqueous solution by peat. **Chemical Engineering Journal**, Vol. 70, p. 115-124, 1998.

HORWITZ, W.; ALBERT, R. The Horwitz ratio (HorRat): A useful index of method performance with respect to precision. **Journal of AOAC International**, v. 89, p.1095-109, 2006.

ISLAMA, M. S.; RAHAMANA, M. S.; YEUM, J. H. Phosphine-functionalized electrospun poly (vinyl alcohol)/silicananofibers as highly effective adsorbent for removal of aqueousmanganese and nickel ions. **Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects.** V 484, P 9–18, 2015.

ITO, A. P., CAVENACHI, M., BERTOLDO, C., PARK, K. J., HUBINGER, M. D. Efeito do processo de desidratação osmótica a pulso de vácuo na transferência de massa e nas propriedades reológicas e de cor de fatias de manga. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27 (supl.), p. 54-63, ago. 2007.

JERÔNIMO, C. E. M. Desidratação de rodelas de cenouras: avaliação dos pré-tratamentos na cinética de secagem e na qualidade do material produzido. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável. Revista Verde** (Mossoró – RN - BRASIL), v. 8, n. 5, p. 09 - 17, dezembro, 2013 (N.T.).

JOHARI, K.; SAMAN, N.; SONG, S. T.; CHIN, C. S.; KONG, H.; MAT, H.; Adsorption enhancement of elemental mercury by various surface modified coconut husk as eco-friendly low-cost adsorbents. **International Biodeterioration & Biodegradation**. V 109, P 45 a 52, 2016.

KHAN, M.A.M.; AHRNÉ, L.; OLIVEIRA, J.C.; OLIVEIRA, F.A.R. Prediction of water and soluble solids concentration during osmotic dehydration of mango. **Food and Bioproducts Processing**, 86:7–13, 2008.

KHOYI, M. R.; HESARI, J. Osmotic dehydration kinetics of apricot using sucrose solution. **Journal of Food Engineering**, v. 78, n. 4, p. 1355-1360, 2007.

KOPPER, A. C.; SARAVIA, A. P. K.; RIBANI, R. H.; LORENZI, G. M. A. C. Utilização tecnológica da farinha de bocaiuva na elaboração de biscoitos tipo cookie. **Alim. Nutr., Araraquara** v.20, n.3, p. 463-469. 2009.

KOWALKA, H.; LENART, A.; LESZCZYK, D. The effect of blanching afreezing on osmotic dehydration of pumpkin. **Journal of Food Engineering**, v. 86, p. 30-38, 2008.

LANÇAS, F. M. A Cromatografia Líquida Moderna e a Espectrometria de Massas: finalmente “compatíveis”; **Scientia chromatographica**, v.1, p.35-61, 2004.

LEITE, F.; MODESTO, C. M. D.; NASCIMENTO, R. F.; DIAS, F. S. Adsorção de cd(ii) de soluções aquosas com microesferas de n-carboximetil-quitosana, **Revista Iberoamericana de Polímeros**. Volumen 6(3), Octubre de 2005.

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 de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**; V. 11, Nº 2, p. 01-04, 2016.

LIU, Y.; WU, J.; CHONG, C.; MIAO, S. Ultrasound Assisted Osmotic Dehydration as Pretreatment for Hot-air Drying of Carrot. **Food Science and Technology Research**. v.20 (1), p. 31-41, 2014.

LOMBARD, G.E.; OLIVEIRA, J.C.; FITO, P.; ANDRÉS, A. Osmotic dehydration of pineapple as a pretreatment for further drying. **Journal of Food Engineering**, 85:277–284, 2008.

LONG, B.; HUANG, J.; WANG, X. Photocatalytic degradation of benzene in gas phase by nanostructured BiPO₄ catalysts. **Progress in Natural Science: Materials International**, v.22, p.644–653, 2012.

LUTZ, (INSTITUTO ADOLFO LUTZ). **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**; coordenadores Odair Zenebon, Neus Sadocco Pascuet e Paulo Tigleia -- São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, p. 1020, 2008.

MAYOR, L., MOREIRA, R., CHENLO, F., SERENO, A.M. Kinetics of osmotic dehydration of pumpkin with sodium chloride solutions. **Journal of Food Engineering**, Oxford, 74, p. 253–262, 2006.

MAYOR, L.; CUNHA, R.L.; SERENO, A.M. Relation between mechanical properties and structural changes during osmotic dehydration of pumpkin. **Food Research International**, Amsterdam, v.40, n.4, p.448-460, 2007.

MARTINS, M. C. P.; CUNHA, T. L.; SILVA; M. R. Efeito das condições da desidratação osmótica na qualidade de passas de caju-do-cerrado. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, Campinas, 28(Supl.): 158-165, dez. 2008.

MATIAS, M. F. O.; OLIVEIRA, E. L.; MARGALHÃES, M. M. A.; GERTRUDES, E. Use of fibers obtained from the cashew (*Anacardium occidentale*, L) and guava (*Psidium guayava*) fruits for enrichment of food products. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 48, Special number, June, p. 143-150, 2005.

MEDEIROS, C. D.; CAVALCANTE, J. A.; ALSINA, O. L. S. Estudo da desidratação osmótica da fruta da palma (figo da índia); **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.8, n.2, p.153-162, 2006.

MENDES, G. R. L.; FREITAS, C. H.; SCAGLIONI, P. T.; SCHMIDT, C. G.; FURLONG, E. B. Condições para desidratação osmótica de laranjas e as propriedades funcionais do produto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.11, p.1210–1216, 2013.

MORAES, K. S.; ZAVAREZE, E. R.; MIRANDA, M. Z.; SALAS-MELLADO, M. M. Avaliação tecnológica de biscoitos tipo cookie com variações nos teores de lipídio e de açúcar. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, v. 30, 2010.

MURILLO ACEVEDO, Y. S. Estudio de adsorción de Fenol y 2-4 DinitroFenol desde solución sobre materiales porosos obtenidos a partir de huesos de bovino, porcino y pollo. **Dissertação de mestrado**. Universidad Nacional de Colombia. 2011.

NANDASIRIA, M. I.; JAMBOVANEK, S. R.; MCGRAILB, B. P.; SCHAEFC, H. T.; NUNE, S. K. Adsorption, separation, and catalytic properties of densified metal-organic frameworks. **Coordination Chemistry Reviews**; 311; 38–52; 2016.
NESTLÉ. Disponível em:<<http://www.nestle.com.br/site/home.aspx>>. Acesso em: 23 ago. 2015.

NETO, P. H. W.; BERGAMINI, Y. A. L.; EURICH, J.; SOUZA, N. M.; ROCHA, C. H. Desidratador de frutas com uso de energia solar direta. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v.5, p. 01- 11, 2016.

OLIVEIRA, M. F.; BEDIN, S.; VIEIRA, M. G. A.; SANTOS, O. A. A.; SILVA, M.G.C. Preparação e caracterização de argila organofílica para remoção de tolueno. **Anais: COBEQ**; 2015.

ORÉFICE, R. L.; PEREIRA, M. M.; MANSUR, H. S. Biomateriais fundamentos e aplicações. Rio de Janeiro: Cultura Médica, 2006.

OSÓRIO, C.; FRANCO, M.S.; CASTAÑO, M.P.; GONZÁLEZ-MIRET, M.L; HEREDIA, F.J.; MORALES, A.L. Colour and flavour changes during osmotic dehydration of fruits. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, 8:353–359, 2007.

PAGE, G. E. **Factors influencing the maximum of air drying shelled corn in thin layer**. USA, 1949. Thesis - (M. Sc.), Purdue University, Indiana.

PANADES, G.; CASTRO, D.; CHIRALT, A.; FITO, P.; NUÑEZ, M.; JIMENEZ, R. Mass transfer mechanisms occurring in osmotic dehydration of guava. **Journal of Food Engineering**, 87:386–390, 2008.

PANI, P.; LEVA, A. A.; RIVA, M.; MAESTRELLI, A.; TORREGGIANI, D. Influence of an osmotic pretreatment on structure-property relationships of air-dehydrated tomato slices. **Journal of Food Engineering**, 86:105–112, 2008.

PARK, K. J. B.; Construção de um simulador para otimização de secadores; Qualificação. **Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola)** – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas; 2006.

PARK, K. J.; BIN, A.; BROD, F. P. R.; PARK, T. H. K. B. Osmotic dehydration kinetics of pear D'anjou (*Pyrus communis* L.). **Journal of Food Engineering**, v. 52, n. 3, p. 293-298, 2002.

PALOU, E.; LÓPEZ-MALO, A.; ARGAIZ, A.; WELTI, J. Osmotic dehydration of papaya. Effect of syrup concentration. **Revista española de Ciencia y tecnologia de Alimentos**, v. 33, n. 6, p. 621-630, 1993.

PAWAR, R. R.; LALHMUNSIAMA; BAJAJ, H. C.; SEUNG-MOK L. Activated bentonite as a low-cost adsorbent for the removal of Cu (II) and Pb (II) from aqueous solutions: Batch and column studies. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**; 34; 213–223; 2016.

PEIRÓ-MENA, R.; CAMACHO, M. M.; MARTÍNEZ-NAVARRETE, N. Compositional and physicochemical changes associated to successive osmodehydration cycles of pineapple (*Ananas comosus*). **Journal of Food Engineering**, 79:842–849; 2007.

PELEG, M. An empirical model for the description of moisture sorption curves. **Journal of Food Science**, v. 53, n. 4, p. 1216-1219, 1988.

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

PORTO, M. A. L.; GUERRA, N. B.; VASCONCELOS, M. A. S.; SIQUEIRA, A. M. O.; ANDRADE, S. A. C. Otimização da desidratação osmótica de uva Crimson Seedless. **Ver. Ciênc. Agron.**; v. 45 (2): 249-56, 2014.

QUEJI, M. F. D.; PESSOA, L. S. Influência do tratamento osmótico na produção de tomate desidratado. **Rev Bras Tecnol Agroind.**; 5(1):282-92; 2011.

QUEIROZ, V.A.V.; BERBERT, P. A.; MOLINA, M.A.B.; GRAVINA, G.A.; QUEIROZ, L. R. Mecanismos de transferência de massa na desidratação osmótica de goiaba em soluções de sacarose, sucralose e açúcar invertido. **Revista Eng Agríc.**; 30 (4): 715-25; 2010.

QUI, L.; LV, L.; PAN, B.; ZHANG, Q. J.; ZHANG, W.; ZHANG, Q. X. Review: Critical review in adsorption kinetics models. **Jornal of Zhejiang University Science A**. 5. P. 716-724. 2009.

QUINTO, T. C.; DUTRA, J.C. S.; FEITAL, T. S.; VIEIRA, F.R.B.; SANTOS, F. S.; CALÇADA, L.A.; BARBOSA, A.L.S., MANCINI, M.C. Avaliação das condições operacionais na desidratação osmótica de fatias de chuchu (*Sechium edule*, Sw.) e de abóbora (*Cucurbita moschata*, L.). **Revista Universidade Rural: Série Ciências Exatas e da Terra, Seropédica**, RJ: EDUR, v.23, n.1-2, p. 62-68, jan.– dez 2004.

RAMOS, D. D. Estudo da degradação fotocatalítica do metilviologênio em nanopartículas de tio_2 e tio_2/ag . Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. **Dissertação**. p. 72. Campo Grande – 2012.

REIS, K. C.; AZEVEDO, L. F.; SIQUEIRA, H. H.; FERRUA, F. Q. Avaliação físico-química de goiabas desidratadas osmoticamente em diferentes soluções. **Ciênc. Agrotec., Lavras**, v. 31, n. 3, p. 781-785, maio/jun., 2007.

RIBANI, M.; BOTTOLI, C. B. G.; COLLINS, C. H.; JARDIM, I. C. F. S.; MELO, L. F. C. V. Validação em métodos cromatográficos e eletroforéticos. **Química Nova**, v.27, p.771-780, 2004.

RODRIGUES, R. F.; TREVENZOLI, R; L.; SANTOS, L. R. G.; LEÃO, V. A.; BOTARO, V. R. Adsorção de metais pesados em serragem de madeira tratada com ácido cítrico. **Eng. sanit. ambient.** 21 Vol.11 - Nº 1, 21-26 - jan/mar 2006,

RODRIGUES, S.; FERNANDES, F. A. N. Dehydration of melons in a ternary system followed by air-drying. **Journal of Food Engineering**, v.80, n. 2, p.678-687, 2007.

ROQUE-MALHERBE, R. M. A. Adsorption and diffusion in nanoporous materials. **CRC Press Taylor & Francis Group.** London, 2007.

SAGAR, V. R.; KUMAR, P. S. Involvement of some process variables in mass transfer kinetics of osmotic dehydration of mango slices and storage stability. **Journal of Scientific & Industrial Research**, v. 68, p. 1043-1048, 2009.

SANJINEZ-ARGANDOÑA, E. J. Goiabas desidratadas osmoticamente e seca: Avaliação de um sistema osmótico semicontínuo, da secagem e da qualidade. **Tese** apresentada à Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas; 2005.

SANTANA, F. C.; SILVA, J. V.; SANTOS, A. J. A. O.; ALVES, A. R.; WARTHA, E. R. S. A.; MARCELLINI, P. S.; SILVA, M. A. A. P. Desenvolvimento de biscoito rico em fibras elaborado por substituição parcial da farinha de trigo, por farinha da casca do maracujá amarelo (*Passiflora edulis flavicarpa*) e fécula de mandioca (*Manihot esculenta crantz*). **Alimentos e Nutrição, Araraquara**; v. 22; n. 3; p. 391-399, 2011.

SEAGRI, <http://www.seagri.ba.gov.br> ACESSO EM 05/01/2016.

SEGUÍ, L.; P.J. FITO, P. J.; FITO, P. Understanding osmotic dehydration of tissue structured foods by means of a cellular approach. **Journal of Food Engineering**. v.110, p. 240–247, 2012.

SILVA, K. S.; CAETANO, L. C.; GARCIA, C. C.; ROMERO, J. T.; SANTOS, A. B.; MAURO, M. A. Osmotic dehydration process for low temperature blanched pumpkin. **Journal of Food Engineering**. V. 105, p. 56–64, 2011.

SILVA, C. D. M.; PIRES, C. R. F.; LIMA, J. P.; PEREIRA, A. S. P.; SILVA, C. A. Desidratação osmótica para obtenção de cagaíta passa. **J. Bioen. Food Sci**, 02 (4): 226-233, 2015.

SILVA, K. S.; FERNANDES, M. A.; MAURO, M. A. Osmotic Dehydration of Pineapple with Impregnation of Sucrose, Calcium, and Ascorbic Acid. **Food Bioprocess Technol.** V. 7, p. 385–397, 2014.

SILVA, J.H.V.; JORDÃO FILHO, J.; RIBEIRO, M.L.G.; SILVA, E.L.; Efeitos da inclusão do farelo de sementes de jaqueira (*Artocarpus heterophyllus Lam.*) na reação sobre a produção, pigmentação da gema e umidade fecal em cordonas. **Ciência Agropecuária, Lavras**. v.31, n.2, p.523-530, 2007.

SILVA, N.; JUNQUEIRA, V.C.A; SILVEIRA, N.A.; TANIWAKI, M.H.; SANTOS, R.F.S.; GOMES, R.A.R. **Manual de Métodos de Análise Microbiológica de Alimentos.** 3^a ed., São Paulo, Varela, 544 p. 2007.

SILVA, F. R. A.; AMARAL, S. P. Avaliação de processos de adsorção de metais pesados: Um estudo experimental com propostas de utilização de subprodutos. **III CNEG** – Niterói, RJ, Brasil, 17, 18 e 19 de agosto de 2006.

SILVA-JÚNIOR, A. A. Otimização da desidratação osmótica da goiaba (*Psidium guajava L.*). Recife, PE: 101p. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Química) Departamento de Engenharia Química. Universidade Federal de Pernambuco, 2009.

SILVA-JUNIOR, A. A.; et al.; Otimização Osmótica do Pimentão Amarelo com Solução Hipertônica de Vinagre e Sal; **Anais: 51º Congresso Brasileiro de química**, São Luís, Maranhão, 2011. <http://www.abq.org.br/cbq/2011/trabalhos/10/10-872-6563.htm>; Acesso: 16/07/2015.

SILVA-JUNIOR, A. A.; et al.; Otimização Pré-Tratamento Osmótico do Caroço da Jaca dura (*Artocarpus integrifolia L. f.*) com Solução Hipertônica de Cloreto de Sódio; **Anais: 52º Congresso Brasileiro de Química**, Recife, Pernambuco, 2012; <http://www.abq.org.br/cbq/2012/trabalhos/10/881-13456.html>; Acesso: 13/05/2015.

SILVA, J.H.V.; JORDÃO FILHO, J.; RIBEIRO, M.L.G.; SILVA, E.L.; Efeitos da inclusão do farelo de sementes de jaqueira (*Artocarpus heterophyllus Lam.*) na ração sobre a produção, pigmentação da gema e umidade fecal em cordonas. **Ciência Agropecuária. Lavras**. v.31, n.2, p.523-530, 2007.

SILVA, T. H. L.; PROTÁSIO, B. F. A.; SILVA, O. S.; SILVA, J. C.; PORTO, T. S. Desidratação osmótica do Tomate em soluções ternárias como pré-tratamento para secagem. **Revista Brasileira de Agroprocessamento**, v. 5, n. 1, p 72 – 75, 2015.

SILVA, W. R; SERRANO, M. T. R.; MOURA, W. S.; ASCHERI, D. P. R. Extração e composição centesimal de amido do caroço de jaca (*Artocarpus heterophyllus*), **Anais: 48º CBQ** (Congresso brasileiro de Química), Rio de Janeiro (29 de setembro à 03 de outubro), 2008. <http://www.abq.org.br/cbq/2008/trabalhos/13/13-200-4527.htm>; Acesso: 15/05/2015.

SOURAKI, B. A.; GHAVAMI, M.; TONDRO, H. Correction of moisture and sucrose effective diffusivities for shrinkage during osmotic dehydration of apple in sucrose solution. **Food and bioproducts processing**. V. 92, p.1–8, 2014.

SOUZA NETO, M. A.; MAIA, G. A.; LIMA, J. R.; FIGUEIREDO, R. W.; SOUZA FILHO, M. S. M.; LIMA, A. S. Desidratação osmótica da manga seguida de secagem convencional: avaliação das variáveis de processo. **Ciênc. agropec., Lavras**, v. 29, n. 5, p. 1021-1028, set./out., 2005.

SOUZA, T. S., CHVES, 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 ScientiarumTechnology**, Maringá, nº 2, v. 31, p. 225-230, 2009.

SOUSA, A. I. O.; NÓBREGA, J. Y. L.; MACHADO, A. V.; COSTA; R. O. Conservação de Furtas através da Utilização do Açúcar. **Revista Brasileira de Agrotecnologia** (*Garanhuns – PE - Brasil*) v.4, n.1, p. 15-18, Jan-Dez, 2014.

SILVERSTEIN, R. M.; WEBSTER, F. X. e KIEMLE, D. J.; **Identificação espectrométrica de compostos orgânicos**; tradução Ricardo Bicca de Alencastro; Rio de Janeiro; LTC, 2010.

SIMABESP – **Sindicato da Indústria de Massas Alimentícias e Biscoitos no Estado de São Paulo.** Disponível em:<<http://www.simabesp.org.br/site/default.asp>>. Acesso em: 05 set. 2015.

SHABIR G. A.; BRADSHAW, T. K. Development and validation of a liquid chromatography method for the determination of methyl salicylate in a medicated cream formulation. **Turk J. Pharm. Sci.** 8 (2), 117-126, 2011.

STATSOFT Inc. **Computer program manual.** STATISTICA for Windows 5.0. Tulsa: StatSoft, Inc., 2000.

TACO, **Tabela brasileira de composição de alimentos / NEPA – UNICAMP.** - 4. ed. rev. e ampl.. -- Campinas: NEPA UNICAMP, 2011.P. 161.

TEDJO, W.; TAIWO, K. A.; ESHTIAGHI, M. N.; KNORR, D. Comparison of pretreatment methods on water and soil diffusion kinetic of osmotically dehydrated mangos. **Journal of Food Engineering**, Essex, n. 53, p. 133-142, 2002.

TONON, R. V.; BARONI, A. F.; HUBINGER, M. D. Osmotic dehydration of tomato in ternary solutions: influence of process variables on mass transfer kinetics and an evaluation of the retention of carotenoids. **Journal of Food Engineering**, v. 82, p. 509–517, 2007.

TORRES, J.D.; TALENS, P.; ESCRICHE, I.; CHIRALT A. Influence of process conditions on mechanical properties of osmotically dehydrated mango. **Journal of Food Engineering**, v. 74, p. 240-246, 2006.

TOUPIN, C. J.; MARCOTTE, M.; LE MAGUER, M. Osmoticallyinduced mass transfer in plant storage tissues: A mathematical model. **Part I. Journal of Food Engineering**, 10, 13-38, 1989.

TREYBAL, R. E. **Drying, In Mass Transfer Operations.** New York, McGraw-Hill, p. 569-575, 1863.

VALLADARES, D.L.; RODRÍGUEZ-REINOSO, F.; ZGRABLICH, G. Characterization of active carbons: the influence of the method in the determination of the pore size distribution. **Carbon.** 10(36). p. 1491-1499. 1998.

WU, S.; ZHENG, H.; LIAN, Y.; WU, Y. Preparation, characterization and enhanced visible-light photocatalytic activities of BiPO₄/BiVO₄ composites. **Materials Research Bulletin**, v. 48, p. 2901–2907, 2013.

XU, J.; LI, L.; GUO, C.; ZHANG, Y.; MENG, W. Photocatalytic degradation of carbamazepine by tailored BiPO₄: Efficiency, intermediates and pathway. **Applied Catalysis B: Environmental**, v. 130–131, p. 285–292, 2013.

ZAIDAN, L. E. M. C.; NAPOLEÃO, D. C.; GUIMARÃES, G.; BARBOSA, C. M. B. M.; BENACHOUR, M.; SILVA, V. L.; Validation methodology for identification and measurement of phenolic compounds in oil refinery effluent by hplc. **Brazilian Journal of petroleum and gas (BJPG)**. V. 7; n. 3; p. 095-106; 2013.

ZAIDAN, L. E. M. C.; GUIMARÃES, G.; SANTOS, L. B.; BRANDÃO, Y. B.; BARBOSA, C. M. B. M.; BENACHOUR, M.; SILVA, V. L.; Validation of an Analytical Method Using HPLC for Identification and Quantification of Aliphatic Acids Present in Effluents. **Int. J. Environ. Res.**, 8(1):149-156, Winter 2014; ISSN: 1735-6865.

ZAIDAN, L. E. M. C. Análise de fenol e seus derivados via cromatografia líquida de alta eficiência e tratamento do poluente orgânico empregando processos oxidativos avançados. **Tese** de doutorado em Engenharia Química da Universidade Federal de Pernambuco, 249 folhas, 2015.

APÊNDICE A - CINÉTICAS DO TEMPO X ABSORBÂNCIAS

Tabela 1A - Leituras das amostras nas Cinéticas do Tempo x Absorbâncias °C 30

TEMPO	LEITURAS AMOSTRAS		
	30 °C		
	1	2	3
0	2,979	2,979	2,979
1	2,978	2,978	2,978
3	2,978	2,978	2,978
5	2,976	2,9762	2,9762
7	2,9755	2,9754	2,9753
9	2,7706	2,7706	2,7709
10	2,4502	2,4503	2,4504
15	2,0738	2,0737	2,0739
20	1,9287	1,9288	1,9289
25	1,8783	1,8781	1,8782
30	1,8785	1,8784	1,8783

Fonte: O Autor

Tabela 2A - Leituras das amostras nas Cinéticas do Tempo x Absorbâncias (40°C)

TEMPO	LEITURAS AMOSTRAS		
	40°C		
	1	2	3
0	3,19878	3,1987	3,1986
1	3,1987	3,1985	3,1985
3	3,1973	3,1972	3,197
5	3,1927	3,1922	3,1929
7	3,1413	3,1416	3,1415
9	2,9963	2,9964	2,9965
10	2,8059	2,8054	2,8053
15	2,7226	2,7229	2,7227
20	2,6044	2,6042	2,6046
25	2,6142	2,6144	2,6145
30	2,6167	2,6168	2,6165

Fonte: O Auto

Tabela 3A - Leituras das amostras nas Cinéticas do Tempo x Absorbâncias (40°C)

TEMPO	LEITURAS	AMOSRAS	
		50 °C	3
0	3,5499	3,5498	3,5497
1	3,5469	3,5468	3,5469
3	3,5468	3,5469	3,5467
5	3,5461	3,5463	3,5462
7	3,54024	3,542	3,5426
9	3,454	3,456	3,458
10	3,3056	3,3067	3,3068
15	2,9875	2,9886	2,9883
20	2,8492	2,8494	2,8496
25	2,6452	2,6455	2,6453
30	2,6435	2,6436	2,6434

Fonte: O Auto

APÊNDICE B – ISOTERMAS

Tabela 4A - Isotermas do Fe³⁺/BEDC nas condições operacionais seguintes: m=1g, V= 25 mL, T=30 °C e tempo de 24 horas

Ce	Qe
0,0021	0,791
0,0391	1,04248996
0,089540772	3,641836913
0,237951807	7,048192771
0,837462895	16,65014842

Fonte: O Autor

Tabela 5A - Isotermas do Fe³⁺/BEDC nas condições operacionais seguintes: m=1 V= 25 ml, T= 30 °C e tempo de 30 minutos

Ce	Qe
0,0022	0,7911
0,039376	1,042497
0,089488	3,642046
0,237917	7,048332
0,83432	16,66272

Fonte: O Autor

ANEXO A - TESTE AFETIVO (ATRIBUTOS: ACEITAÇÃO GLOBAL, AROMA, COR, SABOR E TEXTURA)

FICHA DE AVALIAÇÃO SENSORIAL

NOME: _____ DATA: ___ / ___ / 201 ___
 IDADE: _____ Masc () Fem ()

Avalie as amostras três codificadas e use a escala abaixo para indicar o quanto você gostou ou desgostou. Para os atributos (aceitação global, Aroma, Cor, Sabor e Textura).

- 9- Gostei extremamente
- 8- Gostei muito
- 7- Gostei raramente
- 6- Gostei ligeiramente
- 5- Nem gostei / nem desgostei
- 4- Desgostei ligeiramente
- 3- Desgostei raramente
- 2 - Desgostei muito
- 1- Desgostei extremamente

Aceitação Global
Amostra Valor

Aroma
Amostra Valor

Cor
Amostra Valor

Sabor
Amostra Valor

Textura
Amostra Valor

Comentários:

**ANEXO B - TESTE DE ATITUDE (INTENÇÃO DE COMPRA) E TESTE DE
ORDENAÇÃO (PREFERÊNCIA)**

FICHA DE AVALIAÇÃO SENSORIAL

NOME: _____ DATA: ___ / ___ / 201___

IDADE: _____

Masc () Fem ()

Teste de Atitude (Intenção de Compra)

Avalie as três amostras codificadas e use a escala abaixo para indicar se Certamente compraria ou certamente não compraria.

- 1- Certamente compraria
- 2- Provavelmente compraria
- 3- Tenho dúvidas se compraria
- 4- Provavelmente não compraria
- 5- Certamente não compraria

Amostra Valor

Teste de ordenação (Preferência)

Você está recebendo três amostras codificadas. Avalie cada uma, colocando-as em ordem crescente da intensidade da mais a menos preferida.

Primeira____

Segunda____

Terceira____

Comentários:
