



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
ENGENHARIA AGRÍCOLA**



**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM PROCESSAMENTO E ARMAZENAMENTO  
DE PRODUTOS AGRÍCOLAS**

**APROVEITAMENTO DE SEMENTES RESIDUAIS DE ANONÁCEAS: *ANNONA  
SQUAMOSA E ANNONA MURICATA***

**MARCELA NOBRE OLIVEIRA**

**Campina Grande – PB  
Dezembro, 2020**

**APROVEITAMENTO DE SEMENTES RESIDUAIS DE ANONÁCEAS: *ANNONA  
SQUAMOSA E ANNONA MURICATA***

Tese apresentada ao curso de Pós-graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande-UFCG, como parte das exigências para obtenção do título de doutora em Engenharia Agrícola.

Orientadores: **Prof. Dr. Alexandre José de Melo Queiroz**

**Prof.<sup>a</sup>. Dra. Rossana Maria Feitosa de Figueirêdo**

**Campina Grande –PB**

**Dezembro, 2020**

*Dedico essa conquista em especial a minha filha Maria, luz da minha vida! Motivo pelo qual eu acordo todos os dias com vontade de ser uma pessoa e profissional melhor. Filha, vc me fez renascer! Tudo é por você!*

*A meus pais, Rosângela A. Nobre e Francisco Elias de Oliveira, por sempre colocar nossa educação como prioridade sempre com muito esforço e dedicação. Meu pai, minha inspiração profissional, um homem inteligente e dedicado em tudo o que faz! Minha mãe, minha inspiração pessoal, que me ensinou através de atitudes como ser uma verdadeira mulher e mãe.*

*Ao meu amado esposo Ubieli Alves Araújo Vasconcelos, meu companheiro de vida, ao homem que me motiva, me apóia e me ampara em todos os momentos e agora mais do que nunca nesta reta final foi um super Pai para Maria. Obrigada por tudo, você é o amor da minha vida!*

*Aos meu irmãos: Margela Nobre Oliveira, Francisco Ayrton Nobre de Oliveira (in memorian) e Francisco Elias de Oliveira Junior, meus amigos, cúmplices e fiéis apoiadores, que me ajudaram nessa caminhada, com vocês carrego as mais lindas lembranças.*

*Aos meus sogros José Ubirajara e Eliezeth Alves por ser suporte e por todo o apoio em todos os momentos.*

## AGRADECIMENTOS

A Deus e a Nossa Senhora do Rosário, pelo dom da vida, por sempre me proteger e ouvir minhas preces, por conduzirem meus caminhos e por sempre me mostrar que os Seus planos são maiores que os meus.

À professora Dra. Rossana Maria Feitosa de Figueirêdo, por ser uma referência para nós pela competência e dedicação, por sempre estar presente no CZ nos orientando e tirando nossas dúvidas e pela compreensão nos momentos de dificuldade.

Ao professor Dr. Alexandre José de Melo Queiroz, pela orientação, incentivo e colaboração na execução desta pesquisa, pelas conversas e sorrisos que tivemos durante toda a caminhada.

À professora Dra. Josivanda Palmeira Gomes, por sempre estar presente em todos os momentos, com sua alegria e dedicação com todos os alunos.

A minha avó Maria de Camal, e tia Adília Célia por serem minha segunda família.

A minha sobrinha Ana Júlia, minhas cunhadas Eliubi Araújo e Thalita Manguieira e a Mateus Araújo pelo apoio de sempre.

Aos meus amigos de curso que compartilharam comigo todos os momentos desta pós-graduação, desde as disciplinas até a parte experimental. Quero agradecer a todos que de uma certa forma me ajudaram, ninguém sabe de tudo e todo mundo precisa do outro, sempre levarei vocês no meu coração. Quero agradecer em especial à Daniela Dantas de Farias Leite, pela amizade e apoio de sempre.

A Maria do Socorro e Betânia, profissionais da limpeza, que sempre com um sorriso no rosto enchiam meu coração de alegria.

Aos participantes da minha banca pela atenção, conselhos, correções e colaboração dada para a versão deste trabalho.

Ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola e a Universidade Federal de Campina Grande, por estar presente em toda a minha vida acadêmica, muito orgulho poder concluir o doutorado nesta instituição.

A CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

A Raiz Agro Hortifruti Comercial LTDA, na pessoa de Elivaldo Firmino de Lima, por acreditar no meu potencial.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a finalização deste trabalho.

Muito obrigada!

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>vii</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>x</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>xii</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>xiii</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1 - Objetivo geral.....	3
1.1.1 - Objetivos específicos.....	3
<b>2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>4</b>
2.1 - Ata ( <i>Annona squamosa</i> ) .....	4
2.2 - Graviola ( <i>Annona muricata</i> ) .....	5
2.3 - Aproveitamento de resíduo.....	7
2.4 - Secagem.....	8
2.4.1 - Secagem convectiva.....	10
2.4.2 - Isotermas de adsorção.....	11
<b>3 - MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>14</b>
3.1 - Matérias-primas.....	14
3.2 - Processamento das sementes.....	14
3.3 - Caracterização física das sementes de ata e graviola.....	15
3.3.1 – Massa.....	15
3.3.2 – Massa específica real.....	15
3.3.3 - Massa específica aparente.....	15
3.3.4 - Porosidade.....	15
3.3.5 - Diâmetro médio geométrico.....	16
3.3.6 - Diâmetro médio aritmético.....	16
3.3.7 - Área da superfície.....	17
3.3.8 - Razão de forma.....	17
3.3.9 - Razão de alongamento.....	17
3.3.10 - Circularidade.....	18
3.3.11 - Esfericidade.....	18
3.3.12 - Análise estatística.....	18

3.4 - Caracterização físico-química e compostos bioativos das sementes de ata e graviola.....	19
3.4.1 - Teor de água.....	19
3.4.2 - pH.....	19
3.4.3 - Acidez total titulável (ATT) .....	19
3.4.4 - Proteína bruta.....	19
3.4.5 - Atividade de água ( $a_w$ ) .....	19
3.4.6 - Açúcares solúveis totais.....	20
3.4.7 - Amido.....	20
3.4.8 - Lipídios.....	20
3.4.9 - Ácido ascórbico .....	20
3.4.10 - Compostos fenólicos totais.....	21
3.4.11 - Taninos totais.....	21
3.4.12 - Análise estatística.....	22
3.5 - Cinética de secagem.....	22
3.5.1 - Difusividade efetiva.....	24
3.5.2 - Propriedades termodinâmicas.....	25
3.6 - Caracterização físico-química, compostos bioativos, física e tecnológica das farinhas de ata e graviola.....	26
3.6.1 – Parâmetros físicos.....	26
3.6.1.1 – Densidade aparente.....	26
3.6.1.2 – Densidade compactada.....	26
3.6.1.3 – Densidade absoluta.....	27
3.6.1.4 – Porosidade.....	27
3.6.1.5 – Fator de Hausner.....	27
3.6.1.6 – Índice de compressibilidade ou índice de Carr.....	27
3.6.1.7 – Higroscopicidade.....	28
3.6.2 – Propriedades tecnológicas.....	28
3.6.2.1 – Solubilidade.....	28
3.6.2.2 – Capacidade de absorção de água e óleo.....	28
3.6.2.3 – Atividade de emulsão.....	29
3.6.2.4 – Estabilidade de emulsão.....	29
3.6.2.5 – Molhabilidade.....	30

3.6.2.6 – Capacidade de gelificação.....	30
3.6.3 – Análise estatística.....	30
3.7 - Isotermas de adsorção de água.....	31
3.8 - Seleção das melhores farinhas.....	32
3.8.1 – Atividade antioxidante.....	32
3.8.1.1 – Atividade antioxidante pelo poder redutor do ferro (FRAP).....	32
3.8.1.2 – ABTS.....	33
3.8.1.3 – Atividade antioxidante pelo sequestro do radical livre DPPH.....	33
3.8.2 – Identificação dos compostos fenólicos.....	33
3.8.3 – Cinética de degradação de compostos fenólicos.....	34
3.8.4 – Análise colorimétrica.....	35
3.8.5 - Perfil de minerais.....	35
3.8.3 – Análise estatística.....	36
3.8.4 - Isotermas de adsorção de água.....	36
<b>4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>38</b>
<b>ARTIGO 1.</b> Caracterização de sementes e de farinhas de sementes de anonáceas.	39
<b>ARTIGO 2.</b> Modelagem matemática da cinética de secagem das sementes de ata e graviola e comportamento higroscópico das farinhas.....	62
<b>ARTIGO 3.</b> Caracterização física e comportamento higroscópico das farinhas das sementes de ata e graviola.....	90
<b>ARTIGO 4.</b> Potencial antioxidante, compostos fenólicos, cor e perfil de minerais em farinhas de sementes de ata e graviola a 70 °C.....	108
<b>5. CONCLUSÕES GERAIS.....</b>	<b>133</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>135</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Modelos matemáticos ajustados aos dados da cinética de secagem.....	23
<b>Tabela 2</b> - Modelos de ajuste de isothermas de sorção de água.....	31
<b>Tabela 3</b> - Modelos cinéticos de ordem da reação.....	34
<b>Tabela 4</b> - Modelos de ajuste de isothermas de sorção de água.....	36

### ARTIGO 1

<b>Tabela 1</b> - Características físico-químicas das sementes <i>in natura</i> e das farinhas das sementes de ata e graviola obtidas após secagens de 50 a 70 °C.....	47
<b>Tabela 2</b> - Valores médios dos compostos fitoquímicos avaliados nas sementes <i>in natura</i> e nas farinhas das sementes de ata e graviola obtidas após secagens de 50 a 70 °C.....	49
<b>Tabela 3</b> - Valores médios dos parâmetros físicos das farinhas das sementes de ata e graviola obtidas por secagens de 50 a 70 °C.....	51
<b>Tabela 4</b> - Valores médios das propriedades tecnológicas das farinhas das sementes de ata e graviola obtidas por secagens de 50 a 70 °C.....	53
<b>Tabela 5</b> - Capacidade de gelificação das farinhas das sementes de ata (FSA) e graviola (FSG) obtidas em diferentes temperaturas de secagem.....	55

### ARTIGO 2

<b>Tabela 1</b> - Modelos matemáticos utilizados para ajustar os dados da cinética de secagem.....	66
<b>Tabela 2</b> - Parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ), desvios quadráticos médios (DQM) e qui-quadrados ( $\chi^2$ ) dos modelos matemáticos ajustados aos dados de secagem das sementes de ata nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C.....	71
<b>Tabela 3</b> - Parâmetros, coeficiente de determinação ( $R^2$ ), desvios quadráticos médios (DQM) e qui-quadrados ( $\chi^2$ ) dos modelos matemáticos	73

ajustados aos dados de secagem das sementes de graviola nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C.....	
<b>Tabela 4</b> - Valores das difusividades efetivas ( $D_{ef}$ ), número de Biot ( $B_i$ ), coeficientes de transferência de massa ( $h$ ), coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e qui-quadrado ( $\chi^2$ ) obtidos na secagem das sementes de ata e graviola em temperaturas de 50 a 70 °C.....	75
<b>Tabela 5</b> - Valores médios das propriedades termodinâmicas das sementes de ata e graviola desidratadas nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C.....	81

### ARTIGO 3

<b>Tabela 1</b> - Modelos de ajuste de isotermas de sorção de água.....	96
<b>Tabela 2</b> - Caracterização física das sementes in natura de ata e graviola.....	97
<b>Tabela 3</b> - Parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios percentuais médios ( $P$ ) das isotermas de adsorção de água das farinhas das sementes de ata a 25 °C.....	99
<b>Tabela 4</b> - Parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios percentuais médios ( $P$ ) das isotermas de adsorção das farinhas das sementes de graviola a 25 °C.....	102

### ARTIGO 4.

<b>Tabela 1</b> - Modelos cinéticos de ordem da reação.....	113
<b>Tabela 2</b> - Modelos de ajuste de isotermas de sorção de água.....	115
<b>Tabela 3</b> - Atividade antioxidante em farinha de semente de ata e graviola.....	116
<b>Tabela 4</b> - Identificação e quantificação dos compostos fenólicos por HPLC presentes nas farinhas de sementes de ata (FSA) e de graviola (FSG).....	117
<b>Tabela 5</b> - Parâmetros da cinética de degradação dos compostos fenólicos totais das farinhas de sementes de ata e graviola.....	120
<b>Tabela 6</b> - Parâmetros de Arrhenius e coeficiente de reação ( $Q_{10}$ ) para degradação de compostos fenólicos em farinhas de semente de ata e graviola.....	120
<b>Tabela 7</b> - Caracterização colorimétrica das farinhas de semente de ata e graviola	121

<b>Tabela 8</b> - Identificação e quantificação do perfil de minerais presentes nas farinhas de semente de ata e graviola.....	122
<b>Tabela 9</b> - Parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios percentuais médios (P) das isotermas de adsorção da farinha da semente de ata desidratada a 70 °C.....	124
<b>Tabela 10</b> - Parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios percentuais médios (P) das isotermas de adsorção da farinha da semente de graviola desidratada a 70 °C.....	127

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Fruto de Ata ( <i>Annona squamosa</i> L.) .....	4
<b>Figura 2</b> – Fruto de Graviola ( <i>Annona muricata</i> ) .....	6
<b>Figura 3</b> – Fluxograma das sementes de ata e graviola.....	14

### ARTIGO 2

<b>Figura 1</b> - Taxas de secagem das sementes nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C :a)ata e b) graviola.....	70
<b>Figura 2</b> - Cinética de secagem das sementes de ata ajustadas ao modelo de Logarítmico Exponencial , nas temperaturas de secagem de 50 a 70°C....	74
<b>Figura 3</b> - Cinética de secagem das sementes de graviola ajustadas ao modelo de Exponencial de dois termos, nas temperaturas de secagem de 50 a 70°....	75
<b>Figura 4</b> - Razões de teor de água em função do tempo das cinéticas de secagem das sementes de ata, nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C, com ajustes pelo modelo difusional.....	77
<b>Figura 5</b> - Razões de teor de água em função do tempo das cinéticas de secagem das sementes de graviola, nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C, com ajustes pelo modelo difusional.....	78
<b>Figura 6</b> - Representação da equação de Arrhenius para os valores da difusividade efetiva em função do inverso da temperatura obtidos na secagem das sementes de: a) ata; e b) graviola.....	79
<b>Figura 7</b> - Valores médios da higroscopicidade (g/ 100 g) das farinhas das sementes de ata (FSA) desidratadas nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C .....	82
<b>Figura 8</b> - Valores médios da higroscopicidade (g/ 100 g) das farinhas das sementes de graviola (FSG) desidratadas nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C .....	83

### ARTIGO 3

<b>Figura 1</b> - Isotermas de adsorção de água a 25 °C das farinhas das sementes de ata secadas a 50, 60 e 70° C, com ajustes pelo modelo de GAB.....	101
<b>Figura 2</b> - Isotermas de adsorção de água a 25 °C das farinhas das sementes de graviola com ajustes pelo modelo de GAB.....	104

#### **ARTIGO 4**

<b>Figura 1</b> - Cinéticas de degradação de compostos fenólicos de farinha de sementes de ata (FSA) nas temperaturas de 15, 25 e 35 °C, ajustadas com o modelo de Primeira Ordem.....	118
<b>Figura 2</b> - Cinéticas de degradação de compostos fenólicos totais de farinha de sementes de graviola (FSG) nas temperaturas de 15, 25 e 35 °C, ajustadas com o modelo de Ordem Zero .....	119
<b>Figura 3</b> - Isotermas de adsorção de água a 20, 30 e 40 °C das farinhas das sementes de ata com ajustes pelo modelo de Peleg.....	125
<b>Figura 4</b> - Isotermas de adsorção de água a 20, 30 e 40 °C das farinhas das sementes de graviola com ajustes pelo modelo de Peleg.....	128

OLIVEIRA, M. N. **Aproveitamento de sementes residuais de anonáceas: *Annona squamosa* e *Annona muricata***. 2020. 156 f. tese (Doutorado em engenharia agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2020.

## RESUMO

A produção e consumo de ata e graviola no Brasil é muito grande, as principais formas de consumo é *in natura* e processada, por isso, são desperdiçados uma grande quantidade de resíduos com alto valor nutricional. Dessa forma, a utilização desses resíduos para fabricação de novos produtos é importante. Com isso, esta pesquisa visou secar sementes descartadas de ata e graviola e processar para obtenção de farinha. As sementes de ata e graviola foram secadas em secador convectivo nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C em uma velocidade de 1,5 m/s, trituradas e transformadas em farinha. Foram avaliadas as sementes e farinhas, quanto aos parâmetros físicos-químicos, compostos fitoquímicos, físicos e tecnológicos. A cinética de secagem foi realizada com acompanhamento da perda de água em secador convectivo com velocidade do ar de secagem 1,5 m/s e foram realizados os ajustes com nove modelos predetidos de secagem, determinado a difusividade efetiva, propriedades termodinâmicas e a higroscopicidade das farinhas. As isotermas de adsorção de água foram determinadas utilizando-se Aqualab, pelo método estático indireto, na temperatura de 25 °C. Nas farinhas de ata e graviola à 70 °C foi avaliadas a atividade antioxidante, identificação e quantificação de compostos fenólicos, análise colorimétrica, perfil de minerais e isoterma de adsorção utilizando-se Aqualab, pelo método estático indireto, nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C. As sementes de ata se destacaram com maiores teores de açúcares totais e as sementes de graviola apresentaram maiores teores de amido, lipídios, proteínas, ácido ascórbico e compostos fenólicos totais. As farinhas de sementes de ata apresentaram maiores teores de proteínas, lipídios, compostos fenólicos e taninos; já as farinhas de sementes de graviola contiveram maior quantidade de amido. A fluidez das farinhas avaliadas através do Fator de Hausner e do Índice de Carr foram melhores nas farinhas de sementes das duas espécies obtidas a 50 °C. A farinha de sementes de graviola apresentou maior molhabilidade, enquanto a farinha de sementes de ata, maior atividade de emulsão e capacidade de gelificação. Com os dados das cinéticas de secagem, verificou que os melhores resultados foram encontrados nos modelos Logarítmico Exponencial e Exponencial de Dois Termos. As difusividades efetivas variaram entre 0,85 e  $2,71 \times 10^{-9}$  m<sup>2</sup>/s, com valor mínimo nas sementes de ata e máximo na de graviola, com dependência em relação à temperatura de secagem bem descrita pela relação de Arrhenius. As propriedades termodinâmicas apresentaram redução de entalpia e entropia e aumentos da energia livre de Gibbs. As farinhas das sementes de ata e graviola, foram classificadas como não higroscópicas. Quanto as características físicas das sementes, verificou que as sementes de graviola apresentaram maior massa e maiores circularidade e esfericidade; as sementes de ata apresentaram maiores massas específicas real e aparente. Quanto as isotermas de adsorção na temperatura de 25 °C, as farinhas foram classificadas como do tipo II e, dentre os modelos ajustados, o modelo de GAB apresentou o melhor parâmetro de ajuste. A farinha de semente de ata apresenta uma maior atividade antioxidante e maior quantidade de minerais. Já a farinha de semente de graviola apresentou uma maior quantidade de compostos fenólicos. As farinhas se encontram na região do amarelo. Em relação as isotermas de adsorção nas temperaturas 20, 30 e 40 °C, verificou que o modelo proposto por GAB foi o que melhor se ajustou para as farinhas de semente de ata e graviola.

**Palavras-chave:** ata; graviola; aproveitamento de resíduo; secagem; farinha; atividade antioxidante; compostos bioativos.

OLIVEIRA, M. N. **Use of residual seeds of anonaceae: *Annona squamosa* and *Annona muricata***. 2020. 156 f. Thesis (PhD in Agricultural Engineering) - Federal University of Campina Grande, Campina Grande, 2020.

### ABSTRACT

The production and consumption of lime and soursop in Brazil is very large, the main forms of consumption are fresh and processed, therefore, a large amount of waste with high nutritional value is wasted. Thus, the use of these residues to manufacture new products is important. With this, this research aimed to dry discarded seeds of lime and soursop and to process to obtain flour. The seeds of ata and graviola were dried in a convective dryer at temperatures of 50, 60 and 70 °C at a speed of 1.5 m/s, crushed and transformed into flour. The seeds and flours were evaluated for physical-chemical parameters, phytochemical, physical and technological compounds. The drying kinetics were performed with monitoring of water loss in a convective dryer with drying air speed 1.5 m/s and adjustments were made with nine predicted drying models, determining the effective diffusivity, thermodynamic properties and the hygroscopicity of the flours. The water adsorption isotherms were determined using Aqualab, by the indirect static method, at a temperature of 25 °C. In minutes and graviola flours at 70 °C, antioxidant activity, identification and quantification of phenolic compounds, colorimetric analysis, mineral profile and adsorption isotherm were evaluated using Aqualab, by the indirect static method, at temperatures of 20, 30 and 40 °C. Ata seeds stood out with higher levels of total sugars and soursop seeds showed higher levels of starch, lipids, proteins, ascorbic acid and total phenolic compounds. Minute seed flours showed higher levels of proteins, lipids, phenolic compounds and tannins; the soursop seed flours contained a greater amount of starch. The fluidity of the flours evaluated using the Hausner Factor and the Carr Index were better in the seed flours of the two species obtained at 50 °C. Soursop seed flour showed greater wettability, whereas minutes seed flour had greater emulsion activity and gelation capacity. With the drying kinetics data, it was found that the best results were found in the Exponential and Exponential Two-Term Logarithmic models. The effective diffusivities varied between 0.85 and  $2.71 \times 10^{-9}$  m<sup>2</sup>/s, with a minimum value in the minutes and maximum in the graviola seeds, depending on the drying temperature well described by the Arrhenius relation. The thermodynamic properties showed a reduction in enthalpy and entropy and increases in Gibbs free energy. Flours from the seeds of ata and soursop were classified as non-hygroscopic. As for the physical characteristics of the seeds, it was found that the soursop seeds showed greater mass and greater circularity and sphericity; the minute seeds showed higher specific and real masses. As for the adsorption isotherms at a temperature of 25 °C, the flours were classified as type II and, among the adjusted models, the GAB model presented the best adjustment parameter. Ata seed flour has a greater antioxidant activity and a greater amount of minerals. Soursop seed flour, on the other hand, had a higher amount of phenolic compounds. Flours are found in the yellow region. Regarding the adsorption isotherms at temperatures 20, 30 and 40 °C, it was found that the model proposed by GAB was the one that best fit for the flours of seed of lime and graviola.

**Keywords:** Ata; graviola; use of waste; drying; flour; antioxidant activity; bioactive.

## 1 - INTRODUÇÃO

O Brasil, com extensa área territorial e clima tropical, apresenta uma grande produção de frutas. O hábito de se consumir polpas gera um grande volume de subprodutos não aproveitados, que possuem excelente potencial de processamento (RESENDE et al., 2020).

Dentre as frutas produzidas e consumidas no Brasil, as da família Anonácea destacam-se por conter teores elevados de proteína bruta, extrato etéreo e fibra insolúvel (CRUZ et al., 2013), além de serem consideradas frutas nobres.

A ata (*Annona squamosa* L.) é a espécie do gênero *Annona* de maior expressão econômica no Brasil (IBGE 2017), sendo a mais plantada do gênero, destacando-se o Nordeste como região de maior produção. De acordo com Lemos (2014), o fruto é rico em vitaminas, minerais, fibras, com alegações de conter princípios antineoplásicos. Possui baixa acidez titulável (0,34% ácido cítrico) e pH de 5,23 no estágio de maturação maduro, conferindo o sabor acentuadamente adocicado da polpa, além de 0,66% de pectina, percentual considerado alto por alguns autores por dificultar o processamento da polpa e a estabilização de sucos. O consumo de ata é crescente, tanto no mercado interno, como no externo (CASTRO et al., 2016), o que tem conduzido os produtores a investir no cultivo, principalmente na região Nordeste.

Outra anonácea de grande destaque na produção e comercialização no Brasil é a graviola (*Annona muricata*), sendo a segunda anonácea com maior produção e cultivo no Brasil (IBGE 2017). A graviola vem ganhando importância no mercado mundial como fruta exótica e pela sua qualidade nutricional. A polpa é constituída, em média, por cerca de 54% de polpa, 36% de casca e 10% de sementes.

A graviola é uma excelente fonte de minerais, com destaque para o teor de potássio, magnésio e fósforo presentes na polpa (CAVALCANTE et al., 2018). Possui um amplo espectro de atividades biológicas com atividade anticancerígena e antiparasitária (SOUSA et al., 2011). A fruta fresca tem comercialização dificultada pela alta perecibilidade e rápido escurecimento enzimático da polpa quando exposta ao oxigênio, problema agravado pela casca frágil.

O resíduo agroindustrial de graviola, composto de sementes e cascas, desidratadas e trituradas, apresenta a seguinte composição química: 3,28% de matéria mineral, 23,23% de extrato etéreo, 13,12% de proteína bruta, 50,95% de fibra em detergente neutro, 29,48% de fibra em detergente ácido e 11,72% de lignina (SOUSA et al., 2011).

No beneficiamento da ata e da graviola dos resíduos gerados as sementes são facilmente aproveitáveis, visto serem reservas nutritivas ricas, entre outros, em proteínas e lipídios, nutrientes valiosos e buscados, em especial, em dietas baseadas em alimentos de origem vegetal.

As sementes das anonáceas são caracterizadas por apresentarem um potencial promissor, contendo teores elevados de proteína bruta, extrato etéreo, fibra insolúvel e diversas classes de substâncias com atividades químicas (ALVES et al., 2019). Apresentam alto teor de água, propiciando a degradação rápida. Caso se pretenda acondicioná-las e estocá-las com vistas a utilização posterior, faz-se necessária a aplicação da secagem ou outro método de conservação para evitar a degradação.

A secagem é uma operação que prolonga a vida útil, reduzindo as perdas, transformando e agregando valor às matérias-primas, além de criar novas alternativas de produtos para inserção no mercado. Este procedimento diminui a atividade da água, o que resulta em produtos microbiologicamente e quimicamente mais estáveis, minimizando também os custos de transporte e armazenamento (GUIMARÃES et al., 2017).

A execução de operações de secagem envolve, em geral, a aplicação de calor, sendo o método de secagem convectiva o mais amplamente difundido e empregado na secagem de produtos agrícolas. A secagem convectiva, por sua simplicidade e baixo custo, se comparada a outros métodos de secagem como a liofilização, é uma das tecnologias mais utilizadas para a conservação de produtos agrícolas (FERREIRA et al., 2020).

Diversos trabalhos utilizando farinhas de sementes podem ser encontrados na literatura, como Borges et al. (2006), que utilizaram farinha de sementes de jaca e abóbora como ingredientes em biscoitos tipo cookie; Prette et al. (2013), que realizaram secagens convectivas de sementes de jaca para obtenção de farinha e utilização em produtos alimentícios; Gusmão et al. (2018), que produziram biscoito enriquecido com farinha de algaroba.

A produção de farinhas com sementes de ata e graviola constitui-se uma alternativa viável para o aproveitamento desses resíduos, propiciando um maior aproveitamento dos frutos, com ganhos para toda a cadeia produtiva, aumento da sustentabilidade produtiva, com redução dos descartes ambientais, além de oferecer aos consumidores um produto rico em princípios nutricionais e bioativos.

## 1.1 - Objetivo geral

Secar sementes de ata (*Annona squamosa*) e graviola (*Annona muricata*) para produção de farinhas.

### 1.1.1 - Objetivos específicos

- Caracterizar as sementes de ata e graviola in natura quanto as propriedades físicas (massa, massa específica aparente porosidade intergranular diâmetro médio geométrico, diâmetro médio aritmético, área da superfície, razão de forma, razão de alongamento, circularidade e esfericidade);
- Caracterizar as sementes de ata e graviola in natura quanto aos aspectos físico-químicos e compostos bioativos;
- Determinar as cinéticas de secagem em leito fixo de sementes de ata e graviola nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C, ajustar modelos matemáticos aos dados experimentais, determinar as difusividades efetivas e as propriedades termodinâmicas;
- Caracterizar as farinhas das sementes de ata e graviola quanto aos aspectos físico-químicos, físicos, tecnológicos e compostos bioativos;
- Determinar as isotermas de adsorção de água de todas as farinhas de sementes de ata e graviola a 25 °C;
- Selecionar a melhor farinha das sementes de ata e de graviola mediante a análise dos aspectos físico-químicos, físicos, tecnológicos e compostos bioativos, principalmente dos compostos fenólicos totais;
- Determinar nas farinhas selecionadas atividade antioxidante (FRAP, ABTS e DPPH), perfil dos compostos fenólicos, cinética de degradação de compostos fenólicos, análise colorimétrica, perfil de minerais e isotermas de adsorção de água (20, 30 e 40 °C).

## 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 - Ata (*Annona squamosa*)

A ata (*Annona squamosa* L.) é uma dicotiledônea que tem como o centro de origem a região das Antilhas, sendo disseminada hoje em quase todos os continentes. É conhecida na língua inglesa com “sugar apple” ou “sweetsop”, “rinon” em espanhol, “ata” em francês e ata, fruta-de-conde e pinha em português. No Brasil foi introduzida por volta do século XVII, mais precisamente no estado da Bahia (BRAGA SOBRINHO 2010).

A planta é perene, lenhosa e de porte baixo, podendo chegar a 4 metros de altura, sendo bastante ramificada. As folhas são lâminas medindo de 5 a 15 cm de comprimento e 2 a 6 cm de largura, com coloração verde. As flores são hermafroditas e seus frutos (Figura 1) são do tipo sincarpo com dimensões de 5 a 10 cm de diâmetro, com polpa branca, doce e aromática, recoberto um grande número de sementes (MOSCA et al., 2006).



**Figura 1** - Ata (*Annona squamosa* L.)

O estado da Bahia é o principal produtor, onde a região de Irecê, na zona semiárida, possui em torno de 2.500 ha plantadas com ata, gerando emprego e renda para pequenos e médios agricultores. Esta região é destaque por possuir boas condições de clima e solo para esta espécie (PEREIRA et al., 2010).

De acordo com São José et al. (2014) a ata apresenta grande importância econômica em muitos países. No Brasil o consumo é próprio do mercado interno, com exportação em nível insignificante. O cultivo de ata no Brasil ganhou importância no fim do século XX, após o surgimento mais efetivo por consumo de alimentos mais saudáveis, como frutas e hortaliças.

A ata, como outras diversas frutas tropicais, possui inúmeras finalidades, devido ao seu valor nutricional, é comercializada como fruta fresca ou polpa. Considerada uma fruteira

muito promissora por apresentar fácil adaptabilidade edafoclimática, seus frutos são valorizados no mercado, gerando interesses de pequenos agricultores (SOUZA et al., 2015).

De acordo com Souza et al. (2018) a ata é conhecida e consumida por suas propriedades medicinais e nutricionais, além de seu sabor agradável. Os componentes da fruta relacionados à saúde incluem vitaminas A, B, C, E e K1, antioxidantes, ácidos graxos e a presença de minerais essenciais. Além disso, esta planta provou que possui uma variedade de compostos.

Um dos problemas encontrados na produção de ata é a alta atividade metabólica pós-colheita, o que acelera o processo de maturação em um período limitado de tempo e limitando assim vida útil das frutas. Além disso, a literatura relata que cerca de 30% a 40% das frutas colhidas não atingem os melhores padrões, sendo comercializadas a preços mais baixos (MACIEL et al., 2015).

Com intuito de reduzir o desperdício das frutas fora dos padrões, torna-se necessário a reutilização desses subprodutos, possibilitando o desenvolvimento de novos produtos ou formulações de alimentos por meio da incorporação desses resíduos (FERREIRA et al., 2015).

## **2.2 - Graviola (*Annona muricata*)**

A graviola (*Annona muricata*) é uma fruta que se encontra em todas as regiões tropicais do mundo. Originária das Antilhas é conhecida popularmente como graviola, araticum, jaca de pobre, condessa entre outros. Na língua inglesa a graviola é denominada de “soursop” e “soursapi”, em espanhol por “catuch” e “zapote agrio”. No Brasil, a graviola foi introduzida no século XVI pelos portugueses (OLIVEIRA, 2012).

A gravioleira é uma árvore de pequeno porte, podendo chegar a 6 m de altura, copa pequena e folhagem compacta. As folhas são inteiras, simples e alternas, com coloração variando de verde-escuro a verde-amarelado, medindo de 5 a 15 cm de comprimento e 2 a 7 cm de largura. Suas flores são hermafroditas de cor amarela, os frutos são do tipo baga composto, podendo chegar até 30 cm de comprimento e 20 cm de diâmetro, com casaca delgada de coloração verde-escuro. A graviola (Figura 2) é composta de uma polpa formada por gomos brancos, de cheiro agradável, ligeiramente ácida e de sabor agradável, sendo utilizado para a fabricação de suco, sorvete, compotas, geleias, doces, iogurte e cremes, o fruto possui bastantes sementes, que possuem coloração pretas ou marrons de forte brilho (MOSCA et al., 2006).



**Figura 2** – Fruto da Graviola (*Annona muricata*)

De acordo com Lemos (2014) a graviola é a segunda anonácea mais plantada no Brasil, perdendo apenas para a ata. O recorde de produção foi alcançado em 2006, com 5,5 mil toneladas, onde a região Nordeste destacou-se como a região de maior produção, seguida da região Norte. No Nordeste, destaca-se o estado do Pernambuco como principal produtor, seguido do estado da Bahia. De acordo com Freitas (2012), a produção da graviola é praticamente derivada de pequenos produtores que utilizam mão de obra familiar.

O comércio da fruta fresca é difícil devido à alta perecibilidade, a desuniformidade no tamanho e formato dos frutos, como também a distância das áreas de cultivo até o mercado varejista. Com isso, existe uma tendência de se processar a pasta da graviola antes de comercializar para as agroindústrias, deste processamento resíduo como casca e sementes são desperdiçados (NOGUEIRA et al., 2005).

Luna et al. (2009) relataram que a graviola possui uma rica história no seu uso para fabricação de medicamentos tradicionais, sendo utilizados desde a casca, fruto e semente. A casca sendo utilizada como sedativos e antitumorais, o fruto utilizado no combate contra vermes e parasitas, e as sementes quando esmagadas servem como vermífugos e anti-helmínticos.

Segundo Souza et al. (2008) os frutos de *Annona muricata* são ricos em carboidratos, baixo teor de gordura, ricos em vitamina A e vitamina C. As sementes, por sua vez, possuem em sua constituição compostos bioativos como alcaloides, compostos fenólicos, óleos essenciais, flavonoides e terpenos.

Pesquisas relatam que a folha, casca, raiz, caule e extratos de sementes graviola são anti-bacterianos antifúngicos e anti-maláricos (HAMIZAH et al., 2012). Outros estudos apontam também que a polpa da graviola e seus resíduos são excelentes fontes de minerais e de compostos fitoquímicos, com destaque para os compostos fenólicos (MORAES e COLLA 2006).

### 2.3 - Aproveitamento de resíduo

Durante o processamento de produtos agrícolas na indústria é gerado um grande volume de resíduos que é desperdiçado. Esses resíduos podem ter uma finalidade muito mais benéfica ao homem e ao meio ambiente através de novas tecnologias que os transformem em novos produtos ou subprodutos aproveitáveis. De acordo com o Banco de Alimentos (2008) de cada 100 caixas de produtos agrícolas colhidos, apenas 61 chegam à mesa do consumidor.

Esse desperdício é uma questão que afeta diretamente os índices de desenvolvimento dos países, causando impactos na sociedade e no meio ambiente (GONDIM et al., 2005). Novas tecnologias são criadas diariamente, e é inaceitável que as agroindústrias e a população continuem a desperdiçar resíduos ricos nutricionalmente, posto que esses resíduos apresentam potencial para geração de novos alimentos e tendo em vista que uma parte significativa da população encontra dificuldades diárias para se alimentar (MORETI e MACHADO, 2006).

De acordo com Rodrigues et al. (2011), diversos estudos com o objetivo do aproveitamento integral de produtos de origem vegetal e animal têm recebido destaque e atenção. Os objetivos são diferentes para os tipos de aproveitamento, mas percebe-se que todos tem a preocupação em minimizar o desperdício.

Uma forma de conter este desperdício é o aproveitamento integral de frutas e hortaliças, utilizando partes antes não utilizadas como sementes, cascas, folhas, talos e outros resíduos para a fabricação de alimentos (RORIZ 2012). Muitos frutos comestíveis são processados para fabricação de sucos naturais, sucos concentrados, doces em conserva, polpas e extratos, os quais possuem sementes que são, muitas vezes, descartadas sendo que poderiam ser utilizadas para minimizar o desperdício de alimentos. O descarte dos resíduos do processamento das frutas tropicais e subtropicais representa um crescente problema devido ao aumento da produção (KOBORI e JORGE, 2005).

Tentando evitar o desperdício e o descarte inapropriado dos subprodutos dos alimentos, destaca-se como alternativa o aproveitamento de sementes para produção de farinha, que pode ser utilizado na produção de bolos, pães e cookies, entre outros, agregando valor aos produtos (AZIZ et al., 2012).

Na literatura é possível encontrar diversos estudos com resultados satisfatórios sobre o aproveitamento de resíduos e subprodutos de alimentos, mostrando que além de

proporcionar uma economia nos gastos com alimentação, diversifica e agrega valor nutricional nas preparações (DAMIANI et al., 2011).

Abelama et al. (2017) estudando o aproveitamento da semente de jaca no Brasil verificaram que o processamento da farinha de jaca apresenta-se como perspectiva para o desenvolvimento de novos produtos na área de panificação.

Silveira et al. (2016) analisaram o aproveitamento das sementes de goiaba para produção de farinha e elaboração de biscoito, e constataram que a farinha apresentou teor de umidade de acordo com o padrão exigido pela legislação, elevados valores de proteína, lipídeos e fibra alimentar, Sendo assim, destacaram que sementes residuais de goiaba são uma alternativa de substituição da farinha de trigo na produção de biscoito.

Anjos et al. (2017) ao avaliar o desenvolvimento e aceitação de pães a partir de farinha de resíduos de abóbora, concluíram que a farinha de semente de abóbora possuía altos teores de lipídeos, proteínas e fibras, também foi constatado uma boa aceitação dos pães produzidos a partir desta farinha. Com isso, torna-se viável a fabricação de produtos de panificação com a utilização da farinha de sementes de abóbora.

## **2.4 - Secagem**

A secagem é uma técnica de conservação milenar, que consiste na remoção de água ou qualquer outro líquido do alimento na forma de vapor para o ar não saturado. A remoção de água de alimentos sólidos surgiu como uma forma de reduzir a atividade de água ( $a_w$ ) com o objetivo de inibir o crescimento microbiano, evitando assim sua deterioração (VIMERCATI et al., 2019).

Esta remoção passou a ter grande importância na redução dos custos energéticos, de transporte, embalagem e armazenagem destes alimentos. A secagem reduz a disponibilidade de água em um alimento, diminui as reações químicas de deterioração e prologa o tempo de armazenamento. Essa redução, conseqüentemente, diminui o crescimento e metabolismo microbiano (CASARIN et al., 2016).

Um grande avanço nos processos de conservação de frutas aconteceu com o início dos tratamentos térmicos, com a preservação de frutas pelo calor. A tecnologia da conservação de alimentos consiste na aplicação de alguns princípios físicos ou químicos tais como: altas e baixas temperaturas, eliminação de água (desidratação osmótica, secagem, liofilização, concentração e prensagem), aditivos químicos e irradiação (SPAGNOL et al., 2018).

Atualmente, pode-se verificar um fortalecimento da secagem de produtos agropecuários devido aos grandes avanços nos estudos de melhoria da qualidade de vida, que insere a importância de alimentos saudáveis, mas com as dificuldades de tempo imposto pela vida moderna (PINTO et al., 2018).

Para que a secagem ocorra é necessário que o sistema ou o meio de secagem esteja a uma temperatura superior àquela do sólido úmido permitindo a existência de um fluxo de calor para o mesmo que possibilitará a vaporização da umidade (KARAM et al., 2016). Utilizado em frutas, a secagem mostra-se como uma alternativa eficiente para obter produtos com fitoquímicos e sólidos naturais concentrados, com atributos desejáveis e alto valor agregado, tornando-se uma técnica alternativa que possibilite a redução dos desperdícios pós-colheita (MORAES et al., 2017).

A evolução e descobertas de novas tecnologias e metodologias aconteceram de forma a promover e otimizar o processo de secagem e a melhoria da qualidade do produto final (AZEVEDO e LEONARDO, 2018).

Na secagem de alimentos, destaca-se como um dos métodos mais utilizados a secagem convectiva, que tem como fundamento a diminuição do teor de água do produto por meio da passagem forçada de ar aquecido, com baixa umidade relativa através do produto (FERREIRA et al., 2020).

Alguns parâmetros externos podem interferir no processo de secagem convectiva como: temperatura, velocidade e umidade do meio de secagem (ar), já os parâmetros internos que influenciam são: densidade, permeabilidade, porosidade e algumas características termofísicas e de adsorção-dessorção. Portanto, é necessário estudar as características do material e da sua transferência de massa, para obter melhores parâmetros e uma melhor qualidade da secagem (DERMESONLOUOGLOU et al., 2018). É interessante compreender os parâmetros de controle deste processo, para que a modelagem matemática tenha maior eficiência, ou seja, menos erro no processo (PACHECO-ANGULO et al., 2016).

A modelagem matemática são simulações dos dados obtidos na secagem, que visam encontrar um modelo que represente significativamente a perda de água e ajudam na interpretação dos dados, facilitando a montagem dos sistemas de secagem, dimensionamento, otimização e a determinação da viabilidade de sua aplicação comercial (GASPARIN et al., 2017).

Na modelagem matemática devem ser levados em consideração as características do material como forma, tamanho e o tipo de secagem que vai ser realizado, além de considerar o fator principal da secagem que é a transferência de calor e massa que ocorre nessa

operação. A determinação desses modelos é primordial para melhorias no processo de secagem no que diz respeito ao tipo de secador a ser utilizado assim como ter uma estimativa do tempo de secagem e qualidade do processo (NASCIMENTO et al., 2015).

Como resultado da modelagem matemática, têm-se as curvas de secagem que fornecem dados que viabilizem um melhor desenvolvimento do processo de secagem, assim como o dimensionamento do equipamento. Esses dados podem estabelecer o tempo de secagem referente a uma massa de produtos e o gasto energético (MENDONÇA et al., 2015).

Nascimento et al. (2015) ao estudar modelos matemáticos de Page, Midilli, Newton e da segunda lei de Fick na secagem convectiva de grãos de *Moringa oleifera*, constataram um bom ajuste dos modelos estudados com secagem ideal na temperatura de 60°C e velocidade de 1,05 m/s.

Ferreira et al. (2020) determinaram a cinética de secagem em cubos de mamão desidratados submetidos à desidratação osmótica em soluções de sacarose a 40 e 50 °Brix, nas temperaturas de 50 e 60 °C, seguida de secagem convectiva sob três temperaturas (50, 60 e 70 °C), verificaram que o modelo de Dois Termos foi o que melhor descreveu a cinética de secagem das amostras para todas as condições avaliadas.

Resende et al. (2011) avaliaram a cinética de secagem de sementes de *Jatropha curcas*, utilizando as temperaturas de 30, 40, 50, 60 e 70 °C, e concluíram que aumento da temperatura de secagem promovia uma maior perda de água das sementes.

Já Nascimento et al. (2015) avaliaram o efeito da cinética de secagem em vagens de algaroba, utilizando as temperaturas de 60, 70 e 80 °C, e concluíram que este processo ocorreu no período de taxa decrescente e o modelo Exponencial de Dois Termos um pouco superior pois apresentou coeficiente de determinação maiores e desvios quadráticos médios menores.

#### **2.4.1 - Secagem convectiva**

A secagem convectiva ou secagem de ar forçado é o processo de secagem mais utilizado na conservação de alimentos. Consiste na redução do teor de água do produto por meio da passagem forçada de ar aquecido, com baixa umidade relativa. Essa secagem reduz o teor de água provocando diminuição da massa, do volume, do crescimento de fungos e da atividade enzimática e microbiana (FERREIRA et al., 2020).

No processo de secagem convectiva ocorrem diversas mudanças físicas, químicas e nutricionais nos alimentos e são afetadas por uma série de parâmetros internos e externos de

transferência de calor e massa. Parâmetros externos podem incluir a velocidade, temperatura, pressão e umidade relativa do ar de secagem, enquanto os parâmetros internos estão relacionados com a natureza física do alimento, composição, teor de água, densidade, permeabilidade, porosidade e características de sorção-dessorção do material (QUEQUETO et al., 2018). Durante operações de secagem convectiva, a transferência de calor ocorre devido à movimentação de um fluido aquecido.

O movimento do fluido, no caso da secagem convectiva, provoca a transferência de energia do ar quente para regiões frias. Fazendo com que, o calor seja transferido do ar para a superfície do alimento, sendo utilizado na forma de calor sensível para elevação da temperatura e na forma de calor latente para evaporação da água, ou transferência de massa (SANTOS et al., 2019).

A convecção natural acontece quando o movimento do ar aquecido se move devido a diferenças de densidade no ar. Já na convecção forçada ocorre quando o ar é movido por outros métodos, como por exemplo, bomba ou ventilador. A transferência de calor convectivo entre um fluido e uma superfície é normalmente escrita em termos do coeficiente de transferência de calor convectivo (PINHEIRO et al., 2020).

Com isso, verifica-se que a secagem convectiva promove a transferência de calor de forma indireta para o condicionamento do ar de secagem (temperatura e umidade relativa).

Encontra-se disponível na literatura nacional e internacional, diversos estudos para avaliar a secagem convectiva no processo de desidratação (SAAVEDRA et al., 2017; CHIELLE et al., 2016; DIBAGAR et al., 2020). Mesmo com interesse da comunidade acadêmica em relação ao tema, não foram encontradas pesquisas de secagem de Ata e Graviola, reforçando a necessidade de realização desta pesquisa.

#### **2.4.2 - Isotermas de adsorção**

Nos alimentos existe uma característica que influencia diretamente o manuseio, processamento, armazenamento e consumo, que é a relação existente entre a água e os outros componentes de um produto, definindo sua higroscopicidade, ou seja, sua capacidade de absorver água. Assim como a secagem de alimentos, o estudo das isotermas de adsorção é de fundamental importância para se obter informações do comportamento higroscópico de novos produtos, obtendo assim, melhoria nos processos, nas condições de armazenamento e vida de prateleira. Com base na sua atividade de água e nas condições de umidade relativa

do ambiente pode ter uma estimativa do tempo de armazenamento, evitando, desta forma, o desenvolvimento de microrganismos ou a deterioração química (ALYOUSEF et al., 2020).

A atividade de água nos alimentos é muito importante no processo de conservação e armazenamento, pois está diretamente ligado as suas características e estabilidade, influenciando diretamente a qualidade de pós alimentícios (SILVA et al., 2015).

De acordo com Saravanan et al. (2020) os produtos agrícolas possuem capacidades intrínsecas de doar ou captar água do ambiente, mantendo um equilíbrio dos teores de água dos produtos agrícolas e o ar do ambiente. Esse equilíbrio é atingido quando a pressão parcial de vapor de água no produto iguala-se a do ar que o envolve. Esta relação de teor de água e umidade é expressa a partir de equações matemáticas, que são chamadas de isotermas de adsorção ou curvas de equilíbrio higroscópico.

Desta forma, o estudo de higroscopicidade junto com os processos de secagem de alimentos torna-se fundamental para garantir a qualidade dos produtos agrícolas (OLIVEIRA et al., 2014).

Park et al. (2008) relatam que diversos modelos matemáticos são descritos para isotermas de adsorção de alimentos. Destacando-se os diferentes modelos empíricos, semiempíricos e os teóricos, de modo, que, estes são limitados a alguns tipos de alimentos ou em um curto intervalo de tempo da atividade de água. Não sendo possível a criação de um modelo que disponibilize uma equação geral para todas as isotermas de alimentos, pois a constituição dos alimentos é diferente e como consequência a atividade de água também é diferente, dificultando assim o conhecimento do equilíbrio termodinâmico.

Uma vantagem da predição de valores utilizando os modelos matemáticos para estimar os teores de atividade de água em alimentos, é que, a partir destes valores torna-se possível o conhecimento higroscópico de alimentos que se encontra em condições ambientais de difícil experimentação (RESENDE et al., 2006).

Estudos encontrados na literatura relatam a importância do estudo de isoterma em diferentes sementes. Silva et al. (2015) ao avaliar a higroscopicidade das sementes de *Capsicum chinense*, constataram que o teor de água nas sementes reduz com o aumento da temperatura e que a isoterma apresenta formato sigmoideal, comum para a maioria dos produtos agrícolas.

Costa et al. (2015) determinaram a atividade de água em sementes de Crambe nas temperaturas de 25, 30, 35, 40 e 45°C com atividade de água variando de 0,270 a 0,825 testando os modelos matemáticos: Chung-pfost, Copace, GAB, Halsey Modificado, Sabbah, Sigma Copace, Cavalcanti Mata, Henderson Modificado, Henderson, BET, Oswin e GAB

mod, concluindo que o modelo de Sigma Copace foi o que descreveu melhor a higroscopicidade dos frutos de crambe. Observou-se que o calor isotérico aumenta com a diminuição do teor de água do produto, indicando aumento da energia necessária para a remoção de água.

Já Oliveira et al., (2014) avaliaram a atividade de água em sementes de arroz, nas temperaturas de 10, 20, 30 e 40°C com atividade de água variando de 0,10 a 0,71, e constataram que o calor isotérico aumenta com a diminuição do teor de água. Os valores de calor isotérico variam de 2.572,45 a 2.514,26 kJ/kg, para teores de água de 3,2 a 13,8 (% b.s.).

### 3 - MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi realizado no Laboratório de Armazenamento e Processamento Produtos Agrícola (LAPPA), da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola (UAEA), da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), campus de Campina Grande – PB.

#### 3.1 - Matérias-primas

As sementes de ata (*Annona squamosa* L.) e graviola (*Annona muricata* L.) foram obtidas do descarte de indústrias de polpas de frutas no município de Campina Grande, PB.

#### 3.2 - Processamento das sementes

O fluxograma do processamento das sementes está apresentado na Figura 1. O processamento das sementes de ata e da graviola foi realizado separadamente, mas utilizando-se o mesmo procedimento. No laboratório, as sementes foram selecionadas manualmente, lavadas em água corrente, sanitizadas em solução com hipoclorito de sódio (100 ppm) por 10 min. Em seguida, foram lavadas, novamente, em água corrente e dispostas em bandejas de aço inoxidável a fim de eliminar a água residual, sendo estocadas em embalagens plásticas a temperatura de -18 °C, até a realização dos ensaios experimentais.



**Figura 3** – Fluxograma das sementes de ata e graviola

### 3.3 - Caracterização física das sementes de ata e graviola

As sementes de ata e graviola foram caracterizadas quanto as seguintes análises físicas:

#### 3.3.1 – Massa

A massa média das sementes de ata e graviola in natura foi determinada pesando-se unitariamente a massa de cem sementes em balança analítica.

#### 3.3.2 – Massa específica real

Para a determinação da massa específica real (Equação 1) das sementes in natura utilizou-se o método do deslocamento de massa por pesagens (MOHSENIN, 1978), em que se obtém a massa de água deslocada ao se imergir uma semente em um becker contendo água destilada, colocada sobre uma balança analítica. As determinações foram feitas com 10 sementes para cada repetição.

$$\rho_r = \frac{m}{v} \quad (1)$$

em que:

$\rho_r$  - massa específica real ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );

$m$  - massa da semente (g);

$v$  - volume ( $\text{cm}^3$ ).

#### 3.3.3 - Massa específica aparente

A massa específica aparente ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) foi determinada em béquer com capacidade de 250 mL, calculando-se a relação entre a massa e o volume das amostras.

#### 3.3.4 - Porosidade

A porosidade intergranular foi determinada pela relação entre a massa específica aparente e a massa específica real (Equação 2), de acordo com Takeuchi et al. (2005).

$$\epsilon = \left(1 - \left(\frac{\rho_a}{\rho_r}\right)\right) \times 100 \quad (2)$$

em que:

$\varepsilon$  – porosidade da massa granular (%);

$\rho_a$  - massa específica aparente ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );

$\rho_r$  - massa específica real ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ).

### 3.3.5 - Diâmetro médio geométrico

As dimensões das sementes foram medidas utilizando paquímetro digital com precisão de 0,01 mm. As medições do comprimento, largura e espessura foram realizadas em uma amostra de 100 sementes. O diâmetro médio geométrico foi determinado através das medidas de comprimento, largura e espessura, conforme a Equação 3 (BARYEH, 2001).

$$D_g = \sqrt[3]{c \cdot l \cdot e} \quad (3)$$

em que:

$D_g$  – diâmetro médio geométrico;

$c$  – comprimento;

$l$  – largura;

$e$  – espessura.

### 3.3.6 - Diâmetro médio aritmético

As dimensões das sementes foram medidas utilizando paquímetro digital com precisão de 0,01 mm. As medições foram realizadas em uma amostra de 100 sementes. O diâmetro médio aritmético foi calculado através das medidas de comprimento, largura e espessura, através da Equação 4, conforme Koocheki et al. (2007).

$$D_a = \frac{c \cdot l \cdot e}{3} \quad (4)$$

em que:

$D_a$  – diâmetro médio aritmético;

$c$  – comprimento;

$l$  – largura;

$e$  – espessura.

### 3.3.7 - Área da superfície

A área da superfície foi calculada através da Equação 5, conforme Mansouri et al. (2007).

$$A_s = \pi \cdot (D_g)^2 \quad (5)$$

em que:

$A_s$  – área da superfície;

$D_g$  - diâmetro médio geométrico.

### 3.3.8 - Razão de forma

A proporção de razão de forma ( $R_f$ ) foi calculada de acordo com as Equação 6, conforme Mora e Kwan (2000).

$$R_f = \frac{e}{l} \quad (6)$$

em que:

$R_f$  – razão de forma;

$e$  – espessura do grão;

$l$  – largura do grão.

### 3.3.9 - Razão de alongamento

A proporção de razão de alongamento ( $R_a$ ) foi calculada de acordo com as Equação 7, conforme Mora e Kwan (2000).

$$R_a = \frac{c}{l} \quad (7)$$

em que:

$R_a$  – razão de alongamento;

$c$  – comprimento do grão;

$l$  – largura do grão.

### 3.3.10 - Circularidade

Para determinar a circularidade foram utilizadas 50 sementes, realizando-se a projeção das sementes em papel milimetrado na escala de 3:1, utilizando-se um retroprojektor. A medição da área da semente foi realizada na posição de repouso, consistindo na área do círculo que a circunscribe, possibilitando assim a determinação da circularidade, de acordo com a Equação 8.

$$C_r = \frac{A_p}{A_c} \times 100 \quad (8)$$

em que:

$C_r$  - circularidade (%);

$A_p$  - área projetada da semente na posição de repouso ( $\text{cm}^2$ );

$A_c$  - área do menor círculo que circunscribe a projeção da semente na posição de repouso ( $\text{cm}^2$ ).

### 3.3.11 - Esfericidade

A projeção da posição de repouso das sementes foi utilizada para determinar a esfericidade, sendo medido o diâmetro do maior círculo inscrito e o diâmetro do menor círculo circunscrito na projeção, com paquímetro digital, obtendo-se a razão entre eles, de acordo com a Equação 9.

$$E_s = \frac{d_i}{d_c} \times 100 \quad (9)$$

em que:

$E_s$  - esfericidade (%);

$d_i$  - diâmetro do maior círculo inscrito na projeção da semente na posição de repouso;

$d_c$  - diâmetro do menor círculo circunscrito na projeção da semente na posição de repouso.

### 3.3.12 - Análise estatística

As análises foram conduzidas utilizando-se 3 repetições. Os dados experimentais obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) pelo teste F e as diferenças significativas entre as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de

significância, com o auxílio do *software Assistat* versão 7.7 beta (SILVA; AZEVEDO, 2016).

### **3.4 - Caracterização físico-química e compostos bioativos das sementes de ata e graviola**

As sementes de ata e graviola in natura foram caracterizadas, em triplicata, quanto a composição físico-química e compostos bioativos conforme as seguintes metodologias.

#### **3.4.1 - Teor de água**

O teor de água das sementes e farinhas de sementes foi calculado pelo método gravimétrico em estufa a 105 °C até massa constante (IAL, 2008).

#### **3.4.2 - pH**

O pH foi determinada através de leitura utilizando-se potenciômetro digital, previamente calibrado com soluções tampões de pH 4,0 e 7,0.

#### **3.4.3 - Acidez total titulável (ATT)**

A acidez total titulável foi realizada pelo método acidimétrico, onde a amostra é titulada com solução padronizada de NaOH 0,1 M (IAL, 2008).

#### **3.4.4 - Proteína bruta**

O teor de proteína bruta foi obtido pelo método de micro “Kjeldahl” através da determinação do nitrogênio em alimento (AOAC, 2010). O teor de proteínas foi calculado pela quantidade de nitrogênio total do produto multiplicado pelo fator de conversão em proteína de 6,25.

#### **3.4.5 - Atividade de água ( $a_w$ )**

As medidas da atividade de água foram realizada por meio de higrômetro Aqualab modelo 3TE (Decagon Devices, Inc.).

### 3.4.6 - Açúcares solúveis totais

A quantificação dos açúcares solúveis totais, foi realizada pelo método de antrona, com leitura em espectrofotômetro utilizando a metodologia proposta por Yemm e Willis (1954). As amostras passaram pela etapa de extração, pesando-se 1,0 g do conteúdo, homogeneizada com água destilada até aferição de 25 mL e filtrada em papel de filtro. Em seguida, foi adicionado ao tubo de ensaio uma alíquota do extrato de 800 µL, 200 µL de água e 2000 µL de antrona misturado em vortex e colocado em banho-maria a 100 °C por 3 minutos. As leituras de absorbância foram obtidas a 620 nm em espectrofotômetro (Spectrum®, SP-1105). A curva padrão foi preparada utilizando-se glicose na concentração de 100 µg/mL.

### 3.4.7 - Amido

O teor de amido foi quantificado pelo método de antrona (STEVENS e CHAPMAN, 1955).

### 3.4.8 - Lipídios

A quantificação de lipídios seguiu metodologia descrita por Bligh; Dyer (1957). Nesse método são utilizados como solventes: clorofórmio, metanol e água. Os resultados foram calculados através da Equação 10.

$$LT = \frac{PL \times 4 \times 100}{P} \quad (10)$$

Em que:

LT – lipídios totais (g/100 g)

PL - massa da cápsula com a amostra após a estufa - massa da cápsula vazia (g);

P - massa da amostra (g).

### 3.4.9 - Ácido ascórbico

O ácido ascórbico (AA) foi determinado conforme AOAC (2010), por meio da titulação com 2,6 diclorofenolindofenol sódio (DCFI) até obtenção da coloração rosa clara persistente, usando-se, como solução extratora, o ácido oxálico (BENASSI e ANTUNES, 1988). O cálculo da quantidade de AA seguiu a Equação 11.

$$AA = \frac{(p \times c \times 50) \times 100}{v \times m} \quad (11)$$

Em que:

AA - teor de ácido ascórbico (mg/100 g de amostra);

p - volume gasto de solução padrão de ácido L-ascórbico (mL);

c - concentração da solução padrão de ácido L-ascórbico (mg/mL);

m - massa da amostra (g);

v - volume gasto na titulação da amostra (mL).

#### 3.4.10 - Compostos fenólicos totais

O teor de compostos fenólicos totais (CFT) foi determinado utilizando-se o método espectrofotométrico de Folin-Ciocalteu, conforme Waterhouse (2006). Os extratos foram obtidos com 0,5 g da amostra macerados com 50 mL de água destilada, seguidos de repouso por 30 segundos e filtrados em papel de filtro. Em seguida, foram homogeneizados em vortex uma alíquota do extrato, água destilada e Folin-Ciocalteu, e repouso por 5 minutos. A essa mistura, foram adicionados 250 µL de solução de carbonato de sódio (20%), seguido de agitação em vortex e aquecimento em banho-maria a 40 °C por 30 min na ausência de luz durante o ensaio. A absorbância da amostra foi lida no comprimento de onda de 765 nm em espectrofotômetro (Spectrum<sup>®</sup>, SP-1105). A curva padrão foi preparada utilizando-se ácido gálico como padrão, na concentração de 100 µg/mL e os resultados expressos em mg EAG (equivalente de ácido gálico)/100 g.

#### 3.4.11 - Taninos totais

Os taninos foram determinados conforme metodologia descrita por Goldstein e Swain (1963), utilizando a curva de ácido tânico como padrão. Os extratos foram obtidos com 0,5 g da amostra macerados com 50 mL de água destilada, seguidos de repouso por 30 segundos e filtrados em papel de filtro. Em seguida, foram homogeneizados em vortex uma alíquota do extrato, água destilada e Folin-Ciocalteu, e repouso por 5 minutos. A essa mistura, foram adicionados 250 µL de solução de carbonato de sódio (20%), seguido de agitação em vortex e aquecimento em banho-maria a 40 °C por 30 min na ausência de luz durante o ensaio. A leitura da absorbância da amostra obtida no comprimento de onda de 765 nm em espectrofotômetro (Spectrum<sup>®</sup>, SP-1105).

### 3.4.12 - Análise estatística

O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 2x4, duas sementes (ata e graviola) e 4 temperaturas de secagem (in natura, 50, 60 e 70 °C). As análises dos parâmetros físico-químicos e compostos bioativos foram realizados em triplicata e os dados submetidos à análise de variância (ANOVA) pelo teste F e as médias comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância, com o auxílio do software *Assistat* versão 7.7 beta (SILVA; AZEVEDO, 2016).

### 3.5 - Cinética de secagem

As sementes foram descongeladas até atingir a temperatura ambiente e em seguida distribuídas em bandejas teladas, e submetidas a secagem em secador de leito fixo, nas temperaturas de secagem de 50, 60 e 70 °C, e velocidade do ar de secagem de 1,5 m/s. As cinéticas de secagem foram determinadas, em triplicata, pesando-se as amostras em intervalos regulares de 5, 10, 20, 30 e 60 min, até atingir massa constante (variação de 0,01 g) em três pesagens consecutivas, sendo então determinada a massa seca em estufa a 105 °C durante 24 h (IAL, 2008). Após o término da secagem, as sementes de ata e graviola foram retiradas das bandejas e trituradas em processador para obtenção das farinhas.

Com os dados experimentais, foram calculadas as razões do teor de água das amostras, de acordo com a Equação 12.

$$RX = \frac{X - X_e}{X_i - X_e} \quad (12)$$

em que:

RX - razão do teor de água da amostra (adimensional);

X - teor de água da amostra em um determinado tempo de secagem (bs);

X<sub>i</sub> - teor de água inicial da amostra (bs);

X<sub>e</sub> - teor de água de equilíbrio da amostra (bs).

As taxas de secagem foram determinadas a partir da Equação 13, considerando-se os teores de água (bs) em cada intervalo.

$$TX = \frac{X_{t+dt} - X_t}{dt} \quad (13)$$

em que:

TX - taxa de secagem (1/min);

$X_{t+dt}$  - teor de água em  $t + dt$  (kg de água/kg de matéria seca);

$X_t$  - teor de água em um tempo específico (bs);

dt - intervalo de tempo entre duas medições consecutivas (min).

t - tempo, min.

Os modelos matemáticos de Newton, Thompson, Page, Henderson e Pabis, Exponencial de Dois Termos, Logarítmico Exponencial, Dois termos e Midilli (Tabela 1), foram ajustados aos dados das cinéticas de secagem utilizando-se regressão não linear, pelo método Quase-Newton, usando o programa computacional Statistica 7.7<sup>®</sup>.

**Tabela 1** - Modelos matemáticos ajustados aos dados da cinética de secagem

Designação do modelo	Modelo
Newton	$RX = \exp(-k.t)$
Thompson	$RX = \exp\left(\frac{-a-(a^2+4bt)^{0,5}}{2b}\right)$
Page	$RX = \exp(-k.t^n)$
Henderson e Pabis	$RX = a \exp(-k.t)$
Exponencial de Dois Termos	$RX = a.\exp(-k.t) + (1-a)\exp(-k.a.t)$
Logarítmico Exponencial	$RX = a.\exp(-k_0.t) + (1-a)\exp(-k.a.t)$
Dois Termos	$RX = a.\exp(-k_0.t) + b.\exp(-k_1.t)$
Midilli	$RX = a.\exp(-k.t^n) + b.t$

Onde: RX - razão do teor de água, adimensional; a, b, c, d, e, k, n - parâmetros dos modelos; t - tempo de secagem (min).

Foram utilizados como critérios de ajuste dos modelos matemáticos aos dados experimentais das cinéticas de secagem o coeficiente de determinação ( $R^2$ ), o desvio quadrático médio (DQM) e o qui-quadrado ( $\chi^2$ ), de acordo com as Equações 14, 15 e 16, respectivamente.

$$R^2 = 1 - \left( \frac{\sum_{i=1}^n (RX_{pred,i} - RX_{exp,i})^2}{\sum_{i=1}^n (RX_{exp,i} - RX_{pred,i})^2} \right) \quad (14)$$

$$DQM = \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (RX_{pred,i} - RX_{exp,i})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (15)$$

$$\chi^2 = \frac{1}{n-N} \sum_{i=1}^n (RX_{exp,i} - RX_{pred,i})^2 \quad (16)$$

em que:

$R^2$  - coeficiente de determinação;

DQM - desvio quadrático médio;

$\chi^2$  - qui-quadrado;

$RX_{pred,i}$  - razão do teor de água predit pelo modelo;

$RX_{exp,i}$  - razão do teor de água experimental;

$n$  - número de observações;

$N$  - número de constantes do modelo.

### 3.5.1 - Difusividade efetiva

As difusividades efetivas ( $D_{ef}$ ) foram determinadas por meio do ajuste do modelo matemático da difusão líquida. Foi utilizada a solução analítica da equação de difusão com aproximação da forma geométrica das sementes à de uma esfera (Equação 17) considerando para o diâmetro equivalente das sementes o valor de 0,005 m. Foi utilizado o programa Adsorção Convectiva-Desorption, versão 3.2 para os cálculos (SILVA e SILVA, 2009).

$$RX = X_{eq} - (X_{eq} - X_i) \sum_{n=1}^{16} B_n \exp\left(-\mu_n^2 \frac{D_{ef}}{R^2} t\right) \quad (17)$$

em que:

$RX$  - razão do teor de água da amostra (adimensional);

$X_{eq}$  - teor de água de equilíbrio (bs);

$X_i$  - teor de água inicial da amostra (bs);

$D_{ef}$  - difusividade efetiva ( $m^2/s$ );

$t$  - tempo (s);

$R$  - raio da semente (m);

$n$  - número de termos.

O número de termos da Equação 17 foi estabelecido na Equação 18, em vez de infinito, e o parâmetro  $B_n$  pela Equação 19:

$$B_n = \frac{6Bi^2}{\mu_n^2(\mu_n^2 + Bi^2 - Bi)} \quad (18)$$

$$Bi = \frac{hR}{D_{ef}} \quad (19)$$

$$\tan \mu = -\frac{\mu}{Bi-1} \quad (20)$$

em que:

Bi - número de Biot;

h – coeficiente de transferência convectiva de massa (m/s).

Para obter os parâmetros h,  $D_{ef}$  e Bi o processo de otimização foi feito de acordo com a metodologia descrita por Silva et al. (2010).

Para avaliar o efeito da temperatura sobre a difusividade efetiva foi aplicada uma equação do tipo Arrhenius (Equação 21).

$$D_{ef} = D_{ef0} \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) \quad (21)$$

em que:

$D_0$  - fator pré-exponencial ( $m^2/s$ );

$E_a$  - energia de ativação (kJ/mol);

R - constante universal dos gases (0,008314 kJ/mol K);

T - temperatura absoluta (K).

### 3.5.2 - Propriedades termodinâmicas

Quantificou-se as propriedades termodinâmicas, variação de entalpia, entropia e energia livre de Gibbs, do processo de secagem das amostras nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C por meio das Equações 22, 23 e 24, respectivamente.

$$\Delta H = E_a - RT \quad (22)$$

$$\Delta S = R \left[ \ln(D_{ef0}) - \ln\left(\frac{k_B}{h_p}\right) - \ln T \right] \quad (23)$$

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \quad (24)$$

em que:

$\Delta H$  – variação de entalpia específica (kJ/mol);

- $\Delta S$  - variação de entropia específica (kJ/mol K);  
 $\Delta G$  - variação de energia livre de Gibbs (kJ/mol);  
 $K_B$  - constante de Boltzmann ( $1,38 \times 10^{-23}$  J/K);  
 $h_p$  - constante de Planck ( $6,626 \times 10^{-34}$  J/s);  
T - temperatura absoluta (K).

### **3.6 - Caracterização físico-química, compostos bioativos, física e tecnológica das farinhas de ata e graviola**

Para as farinhas de ata e graviola foram realizadas as análises físico-química e compostos bioativos conforme as metodologias descritas no item 3.4. As análises físicas e tecnológicas são descritas a seguir.

#### **3.6.1 – Parâmetros físicos**

##### **3.6.1.1 – Densidade aparente**

A densidade aparente foi determinada a partir de uma massa de farinha conhecida, que foi transferida para uma proveta graduada, na qual o volume foi utilizado no cálculo da densidade aparente pela relação massa/volume (Equação 25).

$$\rho_a = \frac{m}{v} \quad (25)$$

em que:

$\rho_a$  - densidade aparente (g/cm<sup>3</sup>);

m - massa (g);

v – volume (cm<sup>3</sup>).

##### **3.6.1.2 – Densidade compactada**

Para a densidade compactada foram pesados aproximadamente 2 g de amostra até completar um volume de 10 mL em proveta; em seguida, a amostra foi compactada batendo-se a proveta 50 vezes sobre a bancada; o cálculo para a densidade compactada é dado pela relação entre a massa e o volume ocupado pela amostra compactada na proveta (TONON et al., 2013).

### 3.6.1.3 – Densidade absoluta

A densidade absoluta das farinhas foi determinada pelo método picnométrico, utilizando hexano como líquido imiscível, na temperatura de 25 °C, que consiste na medida da massa em relação ao volume da amostra, em picnômetro.

### 3.6.1.4 – Porosidade

A porosidade foi calculada usando-se a Equação 26, a partir da relação entre a densidade absoluta e a densidade compactada (SANTHALAKSHMY et al., 2015).

$$\varepsilon = \frac{\rho_{abs} - \rho_c}{\rho_{abs}} 100 \quad (26)$$

em que:

$\varepsilon$  - porosidade intragranular;

$\rho_c$  - densidade compactada (g/cm<sup>3</sup>);

$\rho_{abs}$  - densidade absoluta (g/cm<sup>3</sup>).

### 3.6.1.5 – Fator de Hausner

O fator de Hausner foi calculado pela relação entre a densidade compactada e densidade aparente. Este fator correlaciona a fluidez de uma farinha, quantificado segundo a metodologia de Hausner (1967) e calculado conforme a Equação 27.

$$FH = \frac{\rho_c}{\rho_a} \quad (27)$$

em que :

FH - fator de Hausner (adimensional);

$\rho_c$  - densidade compactada (g/cm<sup>3</sup>);

$\rho_a$  - densidade aparente (g/cm<sup>3</sup>).

### 3.6.1.6 – Índice de compressibilidade ou índice de Carr

O índice de Carr (%) foi determinado conforme Bhusari; Muzaffar; Kumar (2014). O índice de compressibilidade é um parâmetro relacionado à capacidade de empacotamento da farinha. Este índice também foi calculado de acordo com a Equação 28.

$$IC = \frac{\rho_c - \rho_a}{\rho_c} \times 100 \quad (28)$$

em que:

IC - índice de Carr (%);

$\rho_c$  - densidade compactada (g/cm<sup>3</sup>);

$\rho_a$  - densidade aparente (g/cm<sup>3</sup>).

### 3.6.1.7 – Higroscopicidade

A higroscopicidade das farinhas foi determinada de acordo com o método proposto por Cai e Corke (2000), com modificações. Cerca de 1 g da farinha foi pesada em placa de Petri e transferida para recipientes herméticos contendo solução saturada de NaCl (UR = 75,29%) e colocados em câmara com temperatura controlada a 25 °C por sete dias, pesando-se as amostras diariamente. A higroscopicidade foi expressa em g de água adsorvida por 100 g de massa seca.

## 3.6.2 – Propriedades tecnológicas

### 3.6.2.1 – Solubilidade

A solubilidade foi determinada pelo método de Eastman e Moore (1984) (Equação 29) e modificado por Cano-Chauca et al. (2005). Um grama de farinha foi adicionado em 100 mL de água destilada submetida a velocidade máxima de agitação em um agitador magnético, durante 5 min. A farinha dispersa em água foi centrifugada a 2.600 rpm por 5 min. Uma alíquota de 25 mL do sobrenadante foi transferida para uma placa de Petri, previamente tarada, e submetida à secagem em estufa a 105 °C por 24 h.

$$\text{Solubilidade (\%)} = \frac{\text{massa da farinha no sobrenadante}}{\text{massa da farinha total}} \times 100 \quad (29)$$

### 3.6.2.2 – Capacidade de absorção de água e óleo

O método de Beuchat (1997) foi usado, com adaptações, para a determinação da capacidade de absorção de água e de óleo. Inicialmente, 10 mL de água destilada ou óleo foram adicionados a 1 g da amostra em tubos de centrífuga. As suspensões foram homogeneizadas durante 3 min e em seguida deixadas em repouso por 30 min.

Posteriormente, os tubos foram fechados e centrifugados por 10 min a 2.500 rpm. O sedimento no tubo da centrífuga, após separação do sobrenadante, foi pesado e a capacidade de absorção da água e do óleo foram calculadas de acordo com as Equações 30 e 31, respectivamente:

$$CAA = (MS - MAS) \times 100 \quad (30)$$

$$CAO = (MS - MAS) \times 100 \quad (31)$$

em que:

CAA - capacidade de absorção de água (%);

CAO - capacidade de absorção de óleo (%);

MS - massa do sedimento (g);

MAS - massa da amostra seca (g).

### 3.6.2.3 – Atividade de emulsão

Para determinar a atividade de emulsão foi utilizado o método de Yasumatsu et al. (1972), com adaptações, em que as emulsões foram preparadas com 2 g de cada amostra, 20 mL de água destilada fria (4 °C) e 20 mL de óleo em um tubo de centrífuga de 50 mL, agitando-se os tubos durante 3 min em vórtex. Os tubos foram imediatamente centrifugados a 2.600 rpm, durante 10 min. O resultado da atividade da emulsão (AE) foi expresso como percentual de emulsão formada no volume total, por meio da Equação 32.

$$AE = \frac{ACE}{ACI} \times 100 \quad (32)$$

em que:

AE - atividade da emulsão (%);

ACE - altura da camada de emulsão (cm);

ACI - altura da camada inteira (cm).

### 3.6.2.4 – Estabilidade de emulsão

A estabilidade da emulsão (EE) foi medida por centrifugação das amostras, após o aquecimento da emulsão num banho-maria a 80 °C durante 30 min e o resfriamento até a temperatura ambiente. A altura da camada emulsionada, como uma percentagem da altura total do material, foi utilizada para calcular a estabilidade de emulsão (Equação 33).

$$EE = \frac{ACEA}{ACI} \times 100 \quad (33)$$

em que:

EE - estabilidade de emulsão (%);

ACEA - altura da camada de emulsão após aquecimento (cm);

ACI - altura da camada inteira (cm).

### 3.6.2.5 – Molhabilidade

A molhabilidade foi determinada utilizando-se a metodologia descrita por Freudig et al. (1999), na qual cerca de 1 g da amostra de farinha é vertida em um béquer de 250 mL contendo 100 mL de água destilada a temperatura ambiente, verificando-se, com cronômetro, o tempo necessário para a completa imersão da farinha. O cálculo da taxa de molhabilidade é realizado conforme Equação 34.

$$M = \frac{N}{t} \quad (34)$$

em que:

M - molhabilidade;

N - massa da amostra (g);

t - tempo (min).

### 3.6.2.6 – Capacidade de gelificação

Utilizou-se o método de Lawal e Adebawale (2005) com modificações, em que foram pesados de 2 a 30% (m/v) da farinha em tubo de ensaio contendo 5 mL de água destilada. A suspensão foi agitada em vórtex e submetida à temperatura de 80 °C, por 30 min, em banho-maria. Após este tempo, a mistura permaneceu em repouso a 4 °C por 2 h. A concentração mínima de gelificação foi determinada como aquela concentração em que a amostra não escoou ao vertê-la do tubo.

### 3.6.3 – Análise estatística

Os experimentos foram realizados em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 x 3, duas sementes (ata e graviola) e três temperaturas de secagem (50,

60 e 70 °C), com três repetições, tratados com auxílio do software Assistat versão 7.7 beta (SILVA e AZEVEDO, 2016).

### 3.7 - Isotermas de adsorção de água

As isotermas de adsorção de água foram determinadas, em triplicata, a 25 °C nas farinhas das sementes de ata e graviola secadas a 50, 60 e 70 °C de acordo com a metodologia proposta por Crapiste e Rotstein (1982), utilizando higrômetro Aqualab (Decagon Devices®) para determinar a atividade de água. Os modelos de Caurie, Iglesias, Oswin, Smith, GAB e Peleg (Tabela 2) foram ajustados aos dados de adsorção de água utilizando-se regressão não linear, pelo método Quase-Newton por meio do programa computacional Statistica 7.7.

**Tabela 2** - Modelos de ajuste de isotermas de sorção de água

Modelo	Equação
Caurie	$X_{eq} = \exp. (a + (b \cdot a_w))$
Iglesias	$X_{eq} = a + (b \cdot \left(\frac{a_w}{(1-a_w)}\right))$
Oswin	$X_{eq} = a \left(\frac{a_w}{(1-a_w)}\right)^b$
Smith	$X_{eq} = M_b - M_a \cdot (\exp (1 - a_w))^{-1}$
GAB	$X_{eq} = \frac{X_m \cdot C \cdot K \cdot a_w}{(1 - K a_w)(1 - K a_w + C K a_w)}$
Peleg	$X_{eq} = k_1 \cdot a_w^{n_1} + k_2 a_w^{n_2}$

Onde:  $X_{eq}$  - teor de água de equilíbrio;  $a_w$  - atividade de água;  $X_m$  - teor de água na monocamada molecular; C e K - parâmetros que dependem da temperatura e natureza do produto;  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $n_1$ ,  $n_2$ , a e b - constantes da equação.

Os critérios usados para determinação do melhor ajuste dos modelos s foram o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e o desvio percentual médio (P), calculado conforme a Equação 35.

$$P = \frac{100}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{|(X_{exp} - X_{pre})|}{X_{exp}} \quad (35)$$

em que:

- P - desvio percentual médio (%);  
X<sub>exp</sub> - valores obtidos experimentalmente;  
X<sub>pre</sub> - valores preditos pelo modelo;  
n - número de dados experimentais.

### 3.8 - Seleção das melhores farinhas

Foi realizada uma seleção da melhor farinha da semente de ata e de graviola dentre as temperaturas de secagem de 50, 60 e 70 °C, com base nos resultados das análises físico-químicas e compostos bioativos, levando-se em consideração principalmente os compostos fenólicos totais.

Selecionou-se as farinhas de ata e graviola produzidas na temperatura de secagem de 70 °C. Análises complementares, em triplicata, foram realizadas nestas farinhas selecionadas conforme as metodologias descritas a seguir.

#### 3.8.1 – Atividade antioxidante

Inicialmente para as análises da atividade antioxidante das farinhas selecionadas foram produzidos extratos fenólicos utilizados metanol 70 %. Os extratos fenólicos foram obtidos numa proporção amostra/mistura de solvente de 1:10.

##### 3.8.1.1 – Atividade antioxidante pelo poder redutor do ferro (FRAP)

A atividade antioxidante do extrato das farinhas foi determinada pelo método de redução do ferro FRAP (*Ferric Reducing Antioxidant Power*) (RUFINO et al., 2006), com adaptações. Na ausência de luz, o reagente FRAP foi preparado com tampão acetato 300 mmol/L (pH 3,6), 2,4,6-tris (2-piridil)-s-triazina (TPTZ) 10 mmol/L em uma solução de HCl 40 mmol/L e FeCl<sub>3</sub> 20 mmol/L. Uma alíquota adequada do extrato foi transferida para um tubo de ensaio e adicionados 0,27 mL de água ultrapura e 2,7 mL do reagente FRAP. A mistura foi agitada e mantida em banho durante 30 minutos a 37 °C. Após o resfriamento até temperatura ambiente, amostras e padrões foram lidos em espectrofotômetro UV-vis (Shimadzu) a 595 nm.

### 3.8.1.2 – ABTS

A atividade antioxidante pelo método ABTS•+ (2,2-azinobis (3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico)) foi determinada de acordo com a metodologia de (EMBRAPA 2007). O radical ABTS•+ foi formado pela reação da solução de 7 mmol ABTS com 140 mmol de persulfato de potássio incubado a 25 °C, sem incidência de luz, por 16 horas. O radical foi diluído em etanol para a absorvância de  $0,70 \pm 0,05$  a 734 nm. Uma alíquota de 300 mL da amostra foi transferida para 2700 mL do radical e as leituras em espectrofotômetro UV-vis (Shimadzu) foram realizadas 6 minutos após adição da amostra em ambiente escuro.

### 3.8.1.3 – Atividade antioxidante pelo sequestro do radical livre DPPH•

A capacidade de eliminação de radicais livres dos extratos foi determinada com base no método DPPH• (RUFINO et al., 2007), com modificações. Uma alíquota do extrato foi adicionada em 3,0 mL de solução diluída de DPPH• (2,2-difenil-1-picril-hidrazil) em etanol (0,0236 mg/mL), agitada e incubada durante 30 minutos no escuro, e a absorvância das amostras e padrões foi medida em espectrofotômetro UV-vis (Shimadzu) a 517 nm. A curva padrão foi realizada com Trolox (6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcromano- ácido 2- carboxílico) (100-2000 µmol/L em etanol). Os resultados foram expressos em µmol equivalente Trolox/g.

### 3.8.2 – Identificação dos compostos fenólicos

Os flavonóis: catequina, epicatequina, epicatequina galato, epigallocatequina galato, procianidina B1 e procianidina B2, kaempferol, rutina e quercitina; estilbenos: *trans* e *cis* resveratrol; ácidos fenólicos: caftárico, cafeico, siríngico, , clorogênico, flavanonas: naringenina e hesperidina foram determinados nas amostras em cromatógrafo líquido de alta eficiência (CLAE) utilizando um sistema HPLC Agilent modelo 1260 Infinity LC (Agilent Technologies, Santa Clara, CA, USA) equipado com bomba quaternária de solventes (modelo G1311C), degaseificador, compartimento de colunas termostaticado (modelo G1316A) e amostrador automático (modelo G1329B). Acoplado em Detector de Arranjos de Diodos (DAD) (modelo G1315D). Os dados obtidos foram processados utilizando o software OpenLAB CDS ChemStation Edition™ (Agilent Technologies). O procedimento analítico foi conforme a metodologia de determinação rápida validada por Padilha et al. (2017).

### 3.8.3 – Cinética de degradação de compostos fenólicos

A cinética de degradação de compostos fenólicos foi realizada em condições de temperatura e umidade relativa controlada. As amostras das farinhas foram armazenadas em recipientes de vidro herméticos contendo solução saturada de cloreto de sódio (NaCl), nas temperaturas de 15, 25 e 35 °C, de forma a se criar ambientes com umidade relativa média de 75%. Foram determinados os teores dos compostos fenólicos totais a cada dois dias, durante o período de 16 dias, de acordo com o método de Folin & Ciocalteu descrito por Waterhouse (2006). As constantes cinéticas de ordem zero e de primeira ordem foram calculadas utilizando-se os modelos cinéticos apresentados na Tabela 3.

**Tabela 3** - Modelos cinéticos de ordem da reação

Ordem da reação	Modelo
Zero	$A = A_0 - k\theta$
Primeira	$\ln \frac{A}{A_0} = -k\theta$

A – concentração do parâmetro avaliado após um tempo “ $\theta$ ”;  $A_0$  - concentração inicial do parâmetro avaliado; k – constante da velocidade da reação; e  $\theta$  – tempo.

Para avaliar o modelo que foi melhor ajustado aos dados experimentais foi utilizado como parâmetro o coeficiente de determinação ( $R^2$ ).

O tempo de meia vida ( $\theta_{1/2}$ ) foi calculado utilizando-se as Equações 36 e 37, para os modelos de ordem zero e primeira ordem, respectivamente. O valor de k utilizado foi o do modelo cinético que melhor se ajustou aos dados experimentais das cinéticas de degradação dos compostos fenólicos totais (AZEREDO, 2004).

$$\theta_{1/2} = \frac{A_0}{2k} \quad (36)$$

$$\theta_{(1/2)} = \frac{0,693}{k} \quad (37)$$

Para avaliar o efeito da temperatura na constante da velocidade da reação (k) foi aplicada uma equação do tipo Arrhenius (Equação 38). Os valores de k utilizados foram dos modelos que melhor se ajustaram aos dados experimentais das cinéticas de degradação dos compostos fenólicos totais.

$$k = k_0 e^{\left(\frac{-E_a}{RT}\right)} \quad (38)$$

onde:

$k$  – constante da velocidade da reação (1/dia);

$k_0$  – fator pré-exponencial (1/dia);

$E_a$  – energia de ativação (J/mol);

$R$  – constante universal dos gases (8,31 J/mol K); e

$T$  – temperatura absoluta (K).

O fator  $Q_{10}$  (Equação 39) expressa a dependência da alteração dos compostos fenólicos totais à mudança de temperatura e foi calculado utilizando-se o  $k$  do modelo com melhor ajuste.

$$Q_{10} = \frac{k_{(T+10)}}{k_T} \quad (39)$$

onde:

$k$  – constante da velocidade da reação (1/dia); e

$T$  – temperatura absoluta (K).

### 3.8.4 – Análise colorimétrica

A cor das farinhas foi avaliada por meio do colorímetro portátil Delta Color. As coordenadas de cor foram lidas no sistema CIELAB:  $L^*$  (luminosidade),  $a^*$  (transição da cor verde para vermelho) e  $b^*$  (transição da intensidade de azul para amarelo); a tonalidade cromática ou ângulo hue ( $h^\circ$ ) e a saturação da cor ou croma ( $C^*$ ) foram calculadas de acordo com as Equações 40 e 41, respectivamente.

$$h^\circ = \arctan\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad (40)$$

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (41)$$

### 3.8.5 - Perfil de minerais

O perfil de minerais das farinhas foram identificados e quantificados em Espectrômetro de Fluorescência de Raios-X por Energia Dispersiva (Shimadzu EDX-7000).

### 3.8.3 – Análise estatística

Para as análises de atividade antioxidante, identificação de compostos fenólicos, análise colorimétrica e perfil de minerais, os experimentos foram realizados em delineamento inteiramente casualizado, com resultados submetidos à análise de variância (ANOVA) pelo teste F e as médias comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% ( $p < 0,05$ ), com o auxílio do software Assisat versão 7.7 beta (SILVA; AZEVEDO, 2016).

### 3.8.6 - Isotermas de adsorção de água

As isotermas de adsorção de água foram determinadas a 20, 30 e 40 °C nas farinhas das sementes de ata e graviola de acordo com a metodologia proposta por Capriste e Rotstein (1982), utilizando higrômetro Aqualab (Decagon Devices®) para determinar a atividade de água. Os modelos de Caurie, Iglesias, Oswin, BET, Smith, GAB e Peleg (Tabela 4) foram ajustados aos dados de adsorção de água utilizando-se regressão não linear, pelo método Quase-Newton por meio do programa computacional Statistica 7.7.

**Tabela 4** - Modelos de ajuste de isotermas de sorção de água

Modelo	Equação
Caurie	$X_e = \exp. (a + (b \cdot a_w))$
Iglesias	$X_e = a + (b \cdot \left(\frac{a_w}{(1 - a_w)}\right))$
Oswin	$X_e = a \left(\frac{a_w}{(1 - a_w)}\right)^b$
Smith	$X_e = M_b - M_a \cdot (\exp (1 - a_w))^{-1}$
GAB	$X_e = \frac{X_m \cdot C \cdot K \cdot a_w}{(1 - Ka_w)(1 - Ka_w + CKa_w)}$
Peleg	$X_e = k_1 \cdot a_w^{n_1} + k_2 a_w^{n_2}$

Onde:  $X_e$  - teor de água de equilíbrio (% bs);  $a_w$  - atividade de água;  $X_m$  - teor de água na monocamada molecular (% bs); C e K - parâmetros que dependem da temperatura e natureza do produto;  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $n_1$ ,  $n_2$ , a e b - constantes da equação.

Os critérios usados para determinação dos melhores ajustes foram o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e o desvio percentual médio (P), calculado conforme a Equação 42.

$$P = \frac{100}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{|(X_{\text{exp}} - X_{\text{pre}})|}{X_{\text{exp}}} \quad (42)$$

Em que:

P - desvio percentual médio (%);

$X_{\text{exp}}$  - valores obtidos experimentalmente;

$X_{\text{pre}}$  - valores preditos pelo modelo;

n - número de dados experimentais.

#### **4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Os resultados obtidos com o desenvolvimento deste trabalho proporcionaram a elaboração seguintes artigos:

**ARTIGO 1.** Caracterização de sementes e de farinhas de sementes de anonáceas

**ARTIGO 2.** Modelagem matemática da cinética de secagem das sementes de ata e graviola e comportamento higroscópico das farinhas

**ARTIGO 3.** Caracterização física e comportamento higroscópico das farinhas das sementes de ata e graviola

**ARTIGO 4.** Potencial antioxidante, compostos fenólicos, cor e perfil de minerais em farinhas de sementes de ata e graviola a 70 °C

## ARTIGO 1 - CARACTERIZAÇÃO DE SEMENTES E DE FARINHAS DE SEMENTES DE ANONÁCEAS

**Resumo:** A ata e a graviola são frutas da família *Annonaceae*, consideradas nobres, de alto valor comercial. Apesar de serem apreciadas como frutas de mesa, também são utilizadas na produção de polpas, com boa preservação das características sensoriais quando armazenadas sob congelamento. Após processadas, geram grande quantidade de resíduos, principalmente sementes. Estas, por sua vez, são compostas por reservas de nutrientes e compostos bioativos com valor comercial, e embora costumem ser descartadas constituem matéria-prima valiosa e aproveitável. Entretanto, é preciso submetê-las a um tratamento prévio que reduza sua deteriorabilidade, como primeira alternativa temos a secagem, que reduz o conteúdo de água a níveis que tornam possível a conservação em temperatura ambiente. Diante disso, esse trabalho foi realizado com o objetivo de caracterizar sementes e farinhas de ata e graviola, elaborar farinhas a partir das sementes das duas espécies e caracterizá-las quanto aos parâmetros físico-químicos, compostos fitoquímicos, físicos e tecnológicos. As sementes de ata e graviola foram secadas em secador convectivo nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C em uma velocidade de ar de 1,5 m/s. As sementes de ata se destacaram com maiores teores de açúcares totais e as sementes de graviola apresentaram maiores teores de amido, lipídios, proteínas, ácido ascórbico e compostos fenólicos totais. As farinhas de sementes de ata apresentaram maiores teores de proteínas, lipídios, compostos fenólicos e taninos; já as farinhas de sementes de graviola contiveram maior quantidade de amido. A fluidez das farinhas avaliadas através do Fator de Hausner e do Índice de Carr foram melhores nas farinhas de sementes das duas espécies obtidas a 50 °C. A farinha de sementes de graviola apresentou maior molhabilidade, enquanto a farinha de sementes de ata, maior atividade de emulsão e capacidade de gelificação.

**Palavras-chave:** Resíduos agrícolas; subprodutos; meio ambiente; ata; graviola; compostos bioativos; propriedades tecnológicas.

**Abstract:** The minutes and soursop are fruits of the *Annonaceae* family, considered noble, of high commercial value. Although they are appreciated as table fruits, they are also used in the production of pulps, with good preservation of sensory characteristics when stored under freezing. After being processed, they generate a large amount of waste, mainly seeds. These, in turn, are composed of nutrient reserves and bioactive compounds with commercial value, and although they are usually discarded, they are valuable and usable raw material. However, it is necessary to subject them to a previous treatment that reduces their deterioration, as a first alternative we have drying, which reduces the water content to levels that make it possible to conserve at room temperature. Therefore, this work was carried out with the objective of characterizing seeds and flours of lime and soursop, elaborating flours from the seeds of both species and characterizing them in terms of physical-chemical parameters, phytochemical, physical and technological compounds. The seeds of ata and soursop were dried in a convective dryer at temperatures of 50, 60 and 70 °C at an air speed of 1.5 m/s. Ata seeds stood out with higher levels of total sugars and soursop seeds showed higher levels of starch, lipids, proteins, ascorbic acid and total phenolic compounds. The flours of the seeds of the minutes showed higher levels of proteins, lipids, phenolic compounds and tannins; the soursop seed flours contained a greater amount of starch. The fluidity of the flours evaluated using the Hausner Factor and the Carr Index were better in the flours of seeds of the two species obtained at 50 °C. Soursop seed flour showed greater wettability, whereas minutes seed flour, greater emulsion activity and gelation capacity.

**Keywords:** agricultural waste, by-products, environment, lime, soursop, bioactive compounds, technological properties.

## 1 - Introdução

O Brasil se destaca na produção de frutas, tanto em quantidade produzida, quanto em espécies. Atividades relacionadas a fruticultura têm apresentado importância crescente no país, tanto no mercado interno, como na produção destinada à exportação (SANTOS e BOÊNO, 2016). No Brasil, algumas frutas ainda são pouco valorizadas e bem menos reconhecidas. A família das Anonáceas é composta por cerca de 119 gêneros e mais de 2000 espécies, entre as quais a ata (*Annona squamosa* L.) e a graviola (*Annona muricata* L.). São frutas nobres, que vem ganhando importância no mercado mundial de frutas exóticas, pela qualidade como a alta palatabilidade e o valor nutricional, inclusive o conteúdo de compostos bioativos (SÃO JOSÉ et al., 2014).

A ateira, cujo fruto também é conhecido como fruta-do-conde ou pinha, é uma das frutíferas mais promissoras, devido à sua fácil adaptação edafoclimática e aos elevados preços que seus frutos alcançam no mercado (SCALOPPI-JUNIOR et al., 2014). O conteúdo de sólidos solúveis totais é muito elevado (27 °Brix) quando comparado com a maioria das frutas, e, associada a baixa acidez total titulável (0,34% ácido cítrico), resulta em elevada relação Brix/Acidez (80,14), o que se traduz na predominância do sabor doce (CRUZ et al., 2013).

A gravioleira é uma planta de origem tropical, da família Annonaceae. Seu fruto, a graviola, vem ganhando importância no mercado pelo sabor particular de sua polpa e pela qualidade nutricional. O resíduo agroindustrial dessa fruta é constituído por cascas e sementes. Pesquisas vêm apontando que os resíduos são excelentes fontes de minerais e de compostos fitoquímicos, com destaque para os compostos fenólicos. As sementes desidratadas e trituradas apresentam na sua composição 3,28% de matéria mineral; 23,23% de extrato etéreo; 13,12% de proteína bruta; 50,95% de fibra em detergente neutro (HANSRA et al., 2014; FREITAS et al., 2014; MOGHADAMTOUSI et al., 2015).

O Brasil é um dos países que mais produzem resíduos agroindustriais, material que é descartado como lixo orgânico, convertendo-se em um problema ambiental (ARIMATÉA et al., 2016), além de demandar custos de movimentação e destinação final. Diversos estudos abordam o aproveitamento de resíduos agroindustriais gerados no beneficiamento de frutas, como farinha de bagaço de uva (PIOVESANA et al., 2013), farinha da semente de abóbora (BITENCOURT et al., 2014; SILVA et al., 2015); bagaço de abacaxi (SELANI et al., 2014); farelo de arroz desengordurado (PAZ et al., 2015); entrecasca da melancia (LIMA et al., 2015); farinha de casca de uva (BENDER et al., 2016); farinha das sementes de goiaba (SILVEIRA et al., 2016) e farinha da casca do melão (VIEIRA et al., 2017).

Esses resíduos possuem em sua composição vitaminas, minerais, fibras, compostos bioativos e antioxidantes importantes e valiosos (MORAIS et al., 2015; GARCIA-SALAS et al., 2016), podendo ser incorporados no desenvolvimento de novos produtos alimentícios (SILVA e JORGE, 2014), utilizados na produção de óleos, extratos proteicos ou compostos bioativos.

Resíduos agroindustriais, como ocorre com a matéria-prima principal, normalmente apresentam alta perecibilidade. Desta forma, a primeira medida a ser tomada, tendo em vista seu aproveitamento, é submetê-los a processos de conservação. A secagem se apresenta como um dos mais simples e mais acessíveis, é baseada na remoção de uma parcela da água do produto, reduzindo sua atividade de água e proporcionando maior estabilidade e vida útil (CASARIN et al., 2016; TELES et al., 2018). A utilização do processo de secagem proporciona a redução do teor de água até níveis seguros para o armazenamento, uma vez que envolve transferências de calor e massa, influenciando as atividades biológicas e a estrutura química e física das sementes, dependendo das condições e métodos de secagem adotados (BARROS et al., 2020).

Após a secagem, o material se apresenta apto para resistir a estocagens e pode ser transformado em farinhas, apresentação que possibilita a incorporação em outros materiais, inclusive para compor produtos de panificação.

Segundo Garcia et al. (2017), a elaboração de farinhas oriundas dos subprodutos surge como uma alternativa para o seu aproveitamento, podendo gerar novos materiais com ênfase no valor nutritivo. Diante disso, o trabalho foi realizado com o objetivo de caracterizar as sementes e as farinhas de sementes de ata e graviola obtidas após secagens a 50, 60 e 70 °C quanto aos aspectos físico-químicos, compostos fitoquímicos, físicos e tecnológicos.

## **2 - Material e métodos**

### **2.1 - Matérias-primas**

As sementes de ata (*Annona squamosa* L.) e graviola (*Annona muricata* L.) foram obtidas do descarte de indústrias de polpas de frutas no município de Campina Grande, PB.

## **2.2 - Processamento da matéria-prima**

O processamento das sementes de ata e da graviola foi realizado separadamente, mas utilizando-se o mesmo procedimento. No laboratório, as sementes foram lavadas em água corrente, sanitizadas em solução com hipoclorito de sódio (100 ppm) por 10 min. Em seguida, foram lavadas, novamente, em água corrente e dispostas em bandejas de aço inoxidável a fim de eliminar a água residual, sendo estocadas em embalagens plásticas a temperatura de -18 °C, até a realização dos ensaios experimentais.

## **2.3 - Obtenção das farinhas**

As sementes de ata e graviola foram colocadas em bandejas teladas e submetidas a secagens em secador de leito fixo, nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C, com velocidade do ar de 1,5 m/s. Em seguida, o material seco foi triturado em moinho de facas e transformado em farinha de semente de ata (FSA) e farinha de semente de graviola (FSG).

## **2.4 - Caracterização físico-química**

As análises físico-químicas foram realizadas em triplicata, nas sementes e nas farinhas das sementes. Foram determinadas, conforme os procedimentos analíticos do IAL (2008), as seguintes análises: teor de água, pelo método gravimétrico em estufa a 70 °C até massa constante; pH, em potenciômetro digital; acidez total titulável, por titulometria com NaOH 0,1 M; proteínas, segundo o método de Kjeldahl, multiplicando-se o teor de nitrogênio total pelo fator de 6,25. A medida da atividade de água ( $a_w$ ) a 25 °C foi realizada por meio de higrômetro Aqualab modelo 3TE (Decagon Devices, Inc.). A quantificação dos açúcares totais foi realizada pelo método de antrona, com leitura em espectrofotômetro utilizando a metodologia proposta por Yemm e Willis (1954) e o teor de amido pelo método de antrona (STEVENS e CHAPMAN, 1955). O teor de lipídios foi determinado pela metodologia de Bligh e Dyer (1959), com clorofórmio, metanol e água.

## **2.5 - Compostos fitoquímicos**

O teor de ácido ascórbico foi determinado conforme AOAC (2010), por meio da titulação com 2,6 diclorofenolindofenol sódio (DCFI) até obtenção da coloração rosa clara persistente, usando-se, como solução extratora, o ácido oxálico (BENASSI e ANTUNES,

1988). O teor de compostos fenólicos totais (CFT) foi determinado utilizando-se o método espectrofotométrico de Folin-Ciocalteu, conforme Waterhouse (2006). Os taninos foram determinados conforme metodologia descrita por Goldstein e Swain (1963), utilizando a curva de ácido tânico como padrão.

## 2.6 - Caracterização física

A densidade aparente foi determinada a partir de uma massa de farinha conhecida, que foi transferida para uma proveta graduada, na qual o volume foi utilizado no cálculo da densidade aparente pela relação massa/volume. Para a densidade compactada foram pesados aproximadamente 2 g de amostra até completar um volume de 10 mL em proveta; em seguida, a amostra foi compactada batendo-se a proveta 50 vezes sobre a bancada; o cálculo para a densidade compactada é dado pela relação entre a massa e o volume ocupado pela amostra compactada na proveta (TONON et al., 2013). A densidade absoluta das farinhas foi determinada pelo método picnométrico, utilizando hexano como líquido imiscível, na temperatura de 25 °C, que consiste na medida da massa em relação ao volume da amostra, em picnômetro.

A porosidade foi calculada usando-se a Equação 1, a partir da relação entre a densidade absoluta e a densidade compactada (SANTHALAKSHMY et al., 2015).

$$\varepsilon = \frac{\rho_{abs} - \rho_c}{\rho_{abs}} 100 \quad (1)$$

Em que:

$\varepsilon$  - porosidade intragranular;

$\rho_c$  - densidade compactada (g/cm<sup>3</sup>);

$\rho_{abs}$  - densidade absoluta (g/cm<sup>3</sup>).

O Fator de Hausner (FH) foi calculado pela relação entre a densidade compactada e a densidade aparente (Equação 2) (HAUSNER, 1967).

$$FH = \frac{\rho_c}{\rho_a} \quad (2)$$

Em que:

FH - fator de Hausner (adimensional);

$\rho_c$  - densidade compactada (g/cm<sup>3</sup>);

$\rho_a$  - densidade aparente (g/cm<sup>3</sup>).

O Índice de Carr ou índice de compressibilidade foi calculado conforme Bhusari et al. (2014) (Equação 3). O índice de compressibilidade é um parâmetro relacionado à capacidade de compactação da farinha.

$$IC = \frac{\rho_c - \rho_a}{\rho_c} \times 100 \quad (3)$$

Em que:

IC - índice de Carr (%);

$\rho_c$  - densidade compactada (g/cm<sup>3</sup>);

$\rho_a$  - densidade aparente (g/cm<sup>3</sup>).

## 2.7 - Propriedades tecnológicas das farinhas

A solubilidade foi determinada pelo método de Eastman e Moore (1984) (Equação 4) e modificado por Cano-Chauca et al. (2005). Um grama de farinha foi adicionado em 100 mL de água destilada submetida a velocidade máxima de agitação em um agitador magnético, durante 5 min. A farinha dispersa em água foi centrifugada a 2.600 rpm por 5 min. Uma alíquota de 25 mL do sobrenadante foi transferida para uma placa de Petri, previamente tarada, e submetida à secagem em estufa a 105 °C por 24 h.

$$\text{Solubilidade (\%)} = \frac{\text{massa da farinha no sobrenadante}}{\text{massa da farinha total}} \times 100 \quad (4)$$

O método de Beuchat (1997) foi usado, com adaptações, para a determinação da capacidade de absorção de água e de óleo. Inicialmente, 10 mL de água destilada ou óleo foram adicionados a 1 g da amostra em tubos de centrífuga. As suspensões foram homogeneizadas durante 3 min e em seguida deixadas em repouso por 30 min. Posteriormente, os tubos foram fechados e centrifugados por 10 min a 2.500 rpm. O sedimento no tubo da centrífuga, após separação do sobrenadante, foi pesado e a capacidade de absorção da água e do óleo foram calculadas de acordo com as Equações 5 e 6, respectivamente:

$$CAA = (MS - MAS) \times 100 \quad (5)$$

$$CAO = (MS - MAS) \times 100 \quad (6)$$

Em que:

CAA - capacidade de absorção de água (%);

CAO - capacidade de absorção de óleo (%);

MS - massa do sedimento (g);

MAS - massa da amostra seca (g).

Para determinar a atividade de emulsão foi utilizado o método de Yasumatsu et al. (1972), com adaptações, em que as emulsões foram preparadas com 2 g de cada amostra, 20 mL de água destilada fria (4 °C) e 20 mL de óleo em um tubo de centrífuga de 50 mL, agitando-se os tubos durante 3 min em vórtex. Os tubos foram imediatamente centrifugados a 2.600 rpm, durante 10 min. O resultado da atividade da emulsão (AE) foi expresso como percentual de emulsão formada no volume total, por meio da Equação 7.

$$AE = \frac{ACE}{ACI} \times 100 \quad (7)$$

Em que:

AE - atividade da emulsão (%);

ACE - altura da camada de emulsão (cm);

ACI - altura da camada inteira (cm).

A estabilidade da emulsão (EE) foi medida por centrifugação das amostras, após o aquecimento da emulsão num banho-maria a 80 °C durante 30 min e o resfriamento até a temperatura ambiente. A altura da camada emulsionada, como uma percentagem da altura total do material, foi utilizada para calcular a estabilidade de emulsão (Equação 8).

$$EE = \frac{ACEA}{ACI} \times 100 \quad (8)$$

Em que:

EE - estabilidade de emulsão (%);

ACEA - altura da camada de emulsão após aquecimento (cm);

ACI - altura da camada inteira (cm).

A molhabilidade foi determinada utilizando-se a metodologia descrita por Freudig et al. (1999), na qual cerca de 1 g da amostra de farinha é vertida em um béquer de 250 mL

contendo 100 mL de água destilada a temperatura ambiente, verificando-se, com cronômetro, o tempo necessário para a completa imersão da farinha. O cálculo da taxa de molhabilidade é realizado conforme Equação 9.

$$M = \frac{N}{t} \quad (9)$$

Em que:

M - molhabilidade;

N - massa da amostra (g);

t - tempo (min).

Para avaliar a capacidade de gelificação, utilizou-se o método de Lawal e Adebowale (2005) com modificações, em que foram pesados de 2 a 30% (m/v) da farinha em tubo de ensaio contendo 5 mL de água destilada. A suspensão foi agitada em vórtex e submetida à temperatura de 80 °C, por 30 min, em banho-maria. Após este tempo, a mistura permaneceu em repouso a 4 °C por 2 h. A concentração mínima de gelificação foi determinada como aquela concentração em que a amostra não escoou ao vertê-la do tubo.

## 2.8 - Análise estatística

Os experimentos foram realizados em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 x 3, duas sementes (ata e graviola) e três temperaturas de secagem (50, 60 e 70 °C), com três repetições, tratados com auxílio do software Assistat versão 7.7 beta (SILVA e AZEVEDO, 2016).

## 3 - Resultados e discussão

### 3.1 - Caracterização físico-química

Os valores médios da caracterização físico-química das sementes *in natura* da ata e da graviola e das farinhas das sementes de ata (FSA) e graviola (FSG), obtidas após secagem das sementes a 50, 60 e 70 °C, estão listados na Tabela 1. Observa-se diferença significativa no teor de água da semente da graviola *in natura* em relação a semente de ata *in natura*, superando-a em mais de 133%. Azharie et al. (2014) analisaram a composição centesimal

das sementes do melão Seinat (*Cucumis melo* var. *tibish*) e encontraram valores de 4,46% bs; 29,85% bs e 32,52% bs para teor de água, proteínas e lipídios, respectivamente. Os teores de água das farinhas obtidos nas três temperaturas foram reduzidos em valores apropriados para a conservação segura, mantendo-se mais elevado na FSG e diminuindo com o aumento da temperatura nas duas farinhas. Baraheng e Karrila (2019) estudando as propriedades da farinha de semente de durian (*Durio zibethinus* Murr.) em diferentes formas encontraram valores para teor de água que variaram de 9,17 a 12,36% bs.

O pH da semente de graviola apresentou-se inferior ( $p < 0,05$ ) ao da ata. Na temperatura de secagem de 70 °C houve aumento do valor do pH da farinha de ata ( $p < 0,05$ ) em relação as demais amostras. Observa-se que os resultados do pH das farinhas foram acima de 4,0, indicando que são pouco ácidas, mas em razão do valor reduzido do teor de água e atividade de água ( $a_w$ ) favorece a estabilidade do produto, dificultando assim, o desenvolvimento de microrganismos (SILVEIRA et al., 2016).

**Tabela 1** - Características físico-químicas das sementes *in natura* e das farinhas das sementes de ata e graviola obtidas após secagens de 50 a 70 °C

Parâmetro	Semente	<i>In natura</i>	Temperatura de secagem (°C)		
			50	60	70
Teor de água (% bs)	Ata	20,36±0,10 bA	3,20±0,13 aB	3,09±0,04 aB	1,17±0,12 bC
	Graviola	47,62±0,91 aA	3,38±0,26 aB	2,60±0,12 aBC	2,23±0,07 aC
pH	Ata	5,06±0,03 aB	4,99±0,01 aB	5,02±0,01 aB	5,16±0,03 aA
	Graviola	4,28±0,02 bAB	4,20±0,00 bB	4,23±0,05 bAB	4,29±0,08 bA
Acidez titulável (g/100 g bs)	Ata	0,47±0,001 aBC	0,57±0,001 aA	0,53±0,001 aAB	0,44±0,02 aC
	Graviola	0,39±0,021 bA	0,35±0,001 bA	0,35±0,001 bA	0,34±0,001 bA
Proteínas (% bs)	Ata	26,31±1,14 bA	20,16±0,30 aB	19,76±0,32 aB	17,46±0,05 aC
	Graviola	30,45±0,31 aA	14,65±0,60 bB	14,27±0,90 bB	13,66±0,31 bB
Atividade de água	Ata	0,955±0,001 bA	0,258±0,018 aB	0,253±0,005 aB	0,226±0,002 aC
	Graviola	0,978±0,001 aA	0,242±0,001 bB	0,131±0,005 bC	0,117±0,002 bC
Açúcares totais (g/100 g bs)	Ata	4,99±0,02 aA	1,77±0,02 bD	2,99±0,03 aC	3,85±0,008 aB
	Graviola	4,71±0,09 bA	2,09±0,04 aD	2,32±0,03 bC	2,78±0,003 bB
Amido (% bs)	Ata	23,02±0,67 bA	11,14±0,05 bD	11,31±0,00 bB	12,54±0,36 bB
	Graviola	28,10±0,71 aA	12,15±0,06 aC	12,41±0,06 aBC	13,14±0,18 aB
Lipídios (% bs)	Ata	35,53±0,58 bA	23,54±0,75 aB	25,97±2,36 aB	26,29±3,26 aB
	Graviola	46,93±2,25 aA	19,78±1,08 aC	22,78±0,31 aBC	25,86±1,50 aB

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

A semente da ata *in natura* apresentou maior valor da acidez titulável do que a da graviola, mantendo essa condição entre todas as farinhas. Para as sementes de graviola a secagem não alterou significativamente a acidez em relação às sementes *in natura*; e para as sementes de ata houve apenas um pequeno aumento da acidez na farinha produzida a 50 e a 60 °C. Muzaffar e Kumar (2016) citaram que os alimentos podem sofrer reação de Maillard devido ao tratamento térmico, esta reação ocasiona à degradação dos açúcares em ácidos.

O teor de proteínas das sementes *in natura* de graviola mostrou-se superior ao da ata, em mais de 15%, porém com a secagem houve efeito inverso sobre as sementes, com os teores na ata superando os da graviola. Observa-se nas duas espécies que houve redução ( $p < 0,05$ ) no teor de proteínas com a secagem. Autores citam valores distintos para sementes de melancia (16,33 a 17,75%) (TABIRI et al., 2016), uva (8,49%) (SOUSA et al., 2014) e maracujá (12,23%) (MALACRIDA e JORGE, 2012). Cruz et al. (2013) destacaram que as sementes são os principais reservatórios de proteínas das anonáceas.

Os valores de atividade de água apresentaram comportamento semelhante ao dos teores de água com reduções gradativas com o aumento da temperatura de secagem. As farinhas das sementes de graviola apresentaram  $a_w$  inferiores as farinhas de ata em todas as temperaturas de secagem. A baixa atividade de água ( $a_w$ ) encontrada nas farinhas reduz o crescimento microbiano e impede reações bioquímicas que dependem da atividade de água. Consequentemente contribui para a conservação do produto prolongando a sua possibilidade de uso (SILVEIRA et al., 2016).

As sementes *in natura* de graviola apresentaram menores teores de açúcares totais do que as sementes de ata, e a secagem acarretou redução no teor. Observa-se, no entanto, em ambas as sementes, que o aumento da temperatura de secagem provocou aumentos nos valores dos açúcares entre 50 e 70 °C. Cruz et al. (2013) estudando a semente de atemoia (*Annona squamosa* x *Annona cherimola*) encontraram teor de açúcares totais de 2,19 g/100 g de amostra.

O teor de amido das sementes de graviola superou o das sementes de ata em mais de 5%, mantendo-se superior em todas as farinhas. A secagem acarretou aumento nos teores de amido nas duas espécies, mas à medida em que se aumentou a temperatura de secagem os teores apresentaram aumentos gradativos, embora com diferenças máximas inferiores a 2%.

O conteúdo lipídico das sementes de graviola e ata caracterizam estas sementes como boa fonte de óleo. A secagem afetou o teor de lipídios das farinhas reduzindo em relação as sementes *in natura*. Não se observou diferenças entre os lipídios das farinhas de ata e graviola para uma mesma temperatura de secagem. Lima et al. (2014) determinaram o percentual de

lipídios em farinhas de sementes de diversas frutas, quais sejam, cereja (37%), sementes de jaca (*Artocarpus integrifolia* L.) (2,5%), sementes de laranja (*Citrus X sinensis*) (29%), sementes de melão casaba (*Cucumis melo* L.) (33%), sementes de pêssigo (39%) e farinha de sementes de pitanga (*Eugenia uniflora* L.) (3%). De acordo com Fennema et al. (2010), o oxigênio é uma substância solúvel em óleo, cuja presença pode ocasionar a oxidação lipídica, o aumento da temperatura é capaz de propiciar o aumento da velocidade da oxidação de lipídeos. Outro fator que influencia a degradação dos lipídeos é a ação das lipases, enzimas que são liberadas quando a matriz celular é rompida, estas enzimas podem provocar a hidrólise dos triacilgliceróis.

### 3.2 - Compostos fitoquímicos

Os valores médios dos compostos fitoquímicos das sementes *in natura* de ata e de graviola e das farinhas das sementes de ata (FSA) e graviola (FSG) estão dispostos na Tabela 2. Entre os vários grupos de compostos bioativos presentes nas frutas das anonáceas, os compostos fenólicos e vitaminas merecem destaque devido, principalmente, as suas funções biológicas, incluindo a capacidade antioxidante, antimicrobiana e antitumoral (MORAIS et al., 2015; ALBUQUERQUE et al., 2016).

**Tabela 2** - Valores médios dos compostos fitoquímicos avaliados nas sementes *in natura* e nas farinhas das sementes de ata e graviola obtidas após secagens de 50 a 70 °C

Parâmetro	Semente	<i>In natura</i>	Temperatura de secagem (°C)		
			50	60	70
Ácido ascórbico (mg/100 g bs)	Ata	7,15±0,001 bA	5,81±0,58 aB	5,61±0,02 aB	5,56±0,64 aB
	Graviola	8,68±0,03 aA	5,77±0,02 aB	5,68±0,05 aB	5,47±0,05 aB
Compostos fenólicos totais (mg EAG/100 g bs)	Ata	475,19±5,65 bA	384,54±1,87 aB	372,65±2,00 aC	368,17±2,39 aC
	Graviola	667,32±5,44 aA	241,33±2,10 bB	226,56±1,03 bC	220,90±7,04 bC
Taninos (mg EAT/100 g bs)	Ata	421,26±15,03 aA	386,57±7,82 aB	370,47±2,13 aBC	361,35±12,07 aC
	Graviola	263,27±2,46 bA	243,51±3,38 bB	218,63±5,60 bC	144,29±7,07 bD

Médias seguidas da mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Os teores de ácido ascórbico são relativamente baixos nas duas sementes *in natura*, com a graviola apresentando o valor mais alto. Com a secagem, as farinhas apresentaram valores menores que as sementes *in natura*, com valores semelhantes entre as temperaturas e entre as farinhas. Cruz et al. (2013) determinaram teor de ácido ascórbico de 8,18 mg/100

g em sementes de atemoia; Albuquerque et al. (2016), estudando a composição fitoquímica de quatro cultivares de cherimoia (*Annona cherimola* Mill.), da Ilha da Madeira, cv. Funchal, Madeira, Mateus II e Perry Vidal, encontraram valores de teor de ácido ascórbico nas sementes de 1,87; 2,03; 1,56; e 1,54 mg/100 g de amostra, respectivamente.

As sementes de graviola *in natura* apresentaram valores de compostos fenólicos totais cerca de 40% maiores do que as sementes de ata. Com a secagem, no entanto, os valores nas farinhas da ata e graviola reduziram significativamente os teores de fenólicos, e ainda mais nas temperaturas mais altas de 60 e 70 °C. Zhou et al. (2011), ao avaliarem o teor dos compostos fenólicos totais presentes na farinha de semente de mamão, utilizando etanol como solvente de extração, constataram o valor de  $1132,41 \pm 162,58$  mg EAG/100 g.

Ao contrário dos compostos fenólicos, o teor de taninos das sementes de ata se apresentou superior ao da graviola, excedendo-os em cerca de 60%. Nas farinhas os taninos foram menores que nas sementes *in natura*, e diminuíram com o aumento da temperatura de secagem. Alves et al. (2019) avaliaram a extração de taninos totais da farinha de sementes de graviola utilizando banho ultrassônico com diferentes solventes, em que encontraram valores de 572,93; 589,76 e 686,46 mg equivalente de ácido tânico/100 g de amostra, para os solventes água destilada, etanol 70% e metanol a 50%, respectivamente. Os autores ainda citaram que a farinha de graviola pode ser utilizada na alimentação humana de forma segura no que diz respeito ao teor de taninos.

### 3.3 - Caracterização física

Na Tabela 3 estão apresentados os resultados médios da densidade aparente, densidade compactada, densidade absoluta, porosidade, fator de Hausner e índice de Carr das farinhas das sementes de ata e graviola.

**Tabela 3** - Valores médios dos parâmetros físicos das farinhas das sementes de ata e graviola obtidas por secagens de 50 a 70 °C

Parâmetro	Semente	Temperatura de secagem (°C)		
		50	60	70
Densidade aparente (g/cm <sup>3</sup> )	Ata	0,41±0,01 aB	0,44±0,02 aAB	0,46±0,01 aA
	Graviola	0,40±0,01 bB	0,42±0,01 bAB	0,43±0,01 bA
Densidade compactada (g/cm <sup>3</sup> )	Ata	0,58±0,01 aB	0,60±0,01 aAB	0,63±0,02 aA
	Graviola	0,54±0,02 bB	0,57±0,02 bAB	0,60±0,01 bA
Densidade absoluta (g/cm <sup>3</sup> )	Ata	1,34±0,02 aA	1,27±0,02 aB	0,94±0,01 aC
	Graviola	1,28±0,04 bA	0,84±0,01 bB	0,80±0,01 bB
Porosidade (%)	Ata	56,56±1,33 aA	52,53±0,80 aA	32,56±5,23 aB
	Graviola	57,58±0,93 aA	31,59±1,45 bB	25,20±1,23 bC
Fator de Hausner	Ata	1,27±0,03 aB	1,37±0,01 aB	1,54±0,06 aA
	Graviola	1,28±0,04 aA	1,26±0,05 bA	1,36±0,08 bA
Índice de Carr (%)	Ata	21,02±1,15 aC	27,05±0,32 aB	34,90±0,77 aA
	Graviola	20,71±1,09 aC	26,67±0,54 aB	32,54±1,55 aA

Médias seguidas da mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

As densidades aparentes da ata superaram as da graviola em todas as temperaturas, porém com diferenças pouco expressivas. Com o aumento da temperatura as densidades aparentes aumentaram nas farinhas das duas sementes. Este comportamento pode ser um fator favorável, em razão de que quanto menor a densidade aparente maior a quantidade de ar preso dentro das farinhas possibilitando maior oxidação do produto e reduzindo a estabilidade durante o armazenamento (SANTHALAKSHMY et al., 2015). É utilizado como medida de embalagem onde quanto menor a densidade aparente, menor o custo da embalagem (AWOLU et al., 2015).

Os valores da densidade compactada apresentaram comportamento semelhante aos da densidade aparente, maiores na ata do que na graviola e crescentes com o aumento da temperatura de secagem. Joshi et al. (2015), citaram que o tamanho das partículas está entre os principais fatores que contribuem com a densidade compactada das farinhas de sementes. O autor acrescenta que na presença de lipídios, as partículas podem se aproximar, pois os triglicerídeos podem atuar como adesivos na aglomeração de moléculas de carboidratos e proteínas (isolados ou em conjunto).

A densidade absoluta igualmente se revela maior nas sementes de ata do que nas de graviola, superando estas em aproximadamente 4,5%. Com o aumento da temperatura de

secagem a densidade absoluta diminuiu, provavelmente devido à crescente redução de teor de água conforme se aumentou a temperatura.

A porosidade das farinhas das sementes de ata e graviola apresentou tendência de redução com o aumento da temperatura de secagem e variou entre 32,56-56,56% e 25,20-57,58%, respectivamente. Observa-se nas temperaturas de 60 e 70 °C menores valores de porosidade nas farinhas de graviola, indicando menor quantidade de espaços vazios e conseqüentemente menor conteúdo de oxigênio disponível para as reações de degradação (SANTHALAKSHMY et al., 2015). Valores superiores de porosidade foram encontrados por Khan e Saini (2016) para a farinha de trigo e farinha de sementes de linhaça com porosidades de 64,44% e 69,09-73,01%, respectivamente.

Os valores do Fator de Hausner (FH) para as duas farinhas são estatisticamente semelhantes nas amostras a 50 °C, mas com o aumento de temperatura de secagem utilizada para obtenção das farinhas o FH obtido para a ata se eleva e supera o da graviola, atingindo mais de 12% de diferença na amostra a 70 °C. Os valores de FH variando de 1,26 a 1,53 classificam as farinhas como de coesividade intermediária a alta, visto que, de acordo com Hausner (1967), valores de FH inferiores a 1,2 são classificados como de baixa coesividade, entre 1,2 e 1,4 tem coesividade intermediária e FH > 1,4 são considerados de alta coesividade.

Os Índices de Carr (IC) das farinhas de ata e de graviola foram semelhantes, e aumentaram com o aumento da temperatura de secagem nos dois tipos de amostra. Na farinha de ata a diferença no Índice de Carr entre 50 e 70 °C atingiu mais de 66%. Observa-se que os valores de IC variaram entre 20,71 e 34,90% para as farinhas das sementes de ata e graviola, o que, de acordo com Carr (1965), classifica as amostras de farinha como de fluidez pobre. O autor define que valores de IC entre 15-20% indicam boa fluidez, entre 20-35% pobre fluidez, entre 35-45% fluidez ruim e IC > 45% fluidez muito ruim.

### **3.4 - Propriedades tecnológicas das farinhas**

Na Tabela 4 apresenta-se os valores médios das propriedades tecnológicas das farinhas das sementes de ata e graviola. As farinhas de sementes de ata e graviola apresentaram solubilidades semelhantes e a da graviola teve seus valores aumentados com o aumento da temperatura de secagem.

**Tabela 4** - Valores médios das propriedades tecnológicas das farinhas das sementes de ata e graviola obtidas por secagens de 50 a 70 °C

Parâmetro	Semente	Temperatura de secagem (°C)		
		50	60	70
Solubilidade (%)	Ata	7,53±0,60 aA	7,65±0,58 aA	8,68±0,67 aA
	Graviola	6,51±0,30 aB	7,19±0,12 aAB	8,27±1,18 aA
Capacidade de absorção de água (%)	Ata	149,32±1,30 bB	158,05±0,94 aB	174,58±0,22 aA
	Graviola	167,17±1,13 aA	170,56±0,91 aA	176,49±1,17 aA
Capacidade de absorção de óleo (%)	Ata	117,82±5,14 bB	118,53±0,64 aA	125,43±12,52 aA
	Graviola	104,37± 3,99 aA	128,73± 1,42 aA	134,84±9,87 aA
Atividade de emulsão (%)	Ata	2,30± 0,05 aA	2,24±0,15 aA	2,12±0,04 aA
	Graviola	2,09±0,04 bA	2,02±0,04 bA	1,90±0,17 bA
Estabilidade de emulsão (%)	Ata	2,26±3,91 aA	2,27±2,37 aA	2,27±2,04 aA
	Graviola	2,18±2,36 aA	1,95±2,09 aB	2,11±1,65 aAB
Molhabilidade (g/min)	Ata	0,024±0,000 bB	0,031± 0,000 bA	0,030±0,003 bA
	Graviola	0,034±0,00 aA	0,037±0,003 aA	0,034±0,001 aA

Médias seguidas da mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Observa-se a influência do aumento da temperatura na capacidade de absorção de água (CAA) da farinha de ata, e com maiores valores nas farinhas de sementes de graviola. Al-Farga et al. (2016) estudando farinha das sementes de *Boerhavia elegana* Choisy verificaram capacidade de absorção de água de 631%; os autores citaram que esse valor pode ser atribuído aos vários componentes hidrofílicos contidos nas sementes de *Boerhavia elegana*, como carboidratos e proteínas, cuja capacidade de elevar a capacidade de absorção de água pode ajudar a manter a textura macia do produto. Awolu et al. (2015) comentaram que a CAA é uma indicação útil para saber se a proteína pode ser incorporada às formulações alimentares aquosas, especialmente, aquelas envolvendo o manuseio de massa.

As capacidades de absorção de óleo (CAO) revelaram-se estatisticamente iguais entre as duas amostras de sementes, exceto na temperatura de 50 °C, e sem demonstrar diferenças estatísticas com o aumento da temperatura de secagem na farinha de sementes de graviola. O mecanismo de absorção de óleo envolve interações capilares na matriz alimentar que permitem a retenção do óleo absorvido (DU et al., 2013).

A atividade de emulsão mostrou-se superior nas farinhas de sementes de ata em todas as temperaturas. Com o aumento da temperatura de secagem observa-se uma tendência gradativa de redução na atividade de emulsão, porém sem atingir diferenças estatisticamente

significativas. Al-Farga et al. (2016) esclareceram que a capacidade de emulsificação de um determinado alimento depende da quantidade de amido, gordura e proteína presentes.

A estabilidade de emulsão mostrou-se semelhante entre as farinhas de sementes de ata e de graviola em todas as temperaturas e também com o aumento da temperatura de secagem. Baraheng e Karrila (2019) estudando a farinha de semente de durian (*Durio zibethinus* Murr.) encontraram valores de 26,5 e 45% para a atividade e estabilidade de emulsão, respectivamente. Estes mesmos autores citaram que um alto valor de atividade e estabilidade de emulsão tornam o produto com alta capacidade de hidratação e espessante, conferindo alta viscosidade, o que poderia estabilizar uma emulsão ao desacelerar os movimentos necessários para a coalescência das gotículas de óleo dispersas.

A molhabilidade das farinhas variou entre 0,024 e 0,034 g/min, com as maiores molhabilidades para as farinhas de sementes de graviola sem diferenças atribuíveis ao tipo de farinha ou a temperatura de secagem. Spada et al. (2020) encontraram valores molhabilidade de 0,0011 e 0,0016 g/min, para farinha de semente de jaca seca e farinha de semente de jaca acidificada, respectivamente. Os mesmos autores citam que a molhabilidade é a susceptibilidade das partículas à penetração da água e está associada à hidrofobicidade e solubilidade.

Na Tabela 5 encontram-se os valores de capacidade de gelificação das farinhas das sementes de ata (FSA) e graviola (FSG) obtidas em diferentes temperaturas de secagem. A capacidade mínima de gelificação (CMG) é usada como índice de gelificação, e para as farinhas de ata e graviola os valores obtidos foram de 20 e 24%, respectivamente, indicando maior capacidade na farinha de sementes de ata. As diferentes concentrações utilizadas das farinhas demonstraram que as mesmas não apresentam boas características gelificantes indicando limitação do seu uso em produtos que requeiram esta propriedade como, por exemplo, formulações cárneas, substitutos de carne e queijos, entre outros.

**Tabela 5** - Capacidade de gelificação das farinhas das sementes de ata (FSA) e graviola (FSG) obtidas em diferentes temperaturas de secagem

Concentração da farinha (% p/v)	FSA 50	FSA 60	FSA 70	FSG 50	FSG 60	FSG 70
2	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	±	-
8	-	±	-	-	±	±
10	±	±	±	-	±	±
12	±	±	±	-	±	±
14	±	±	±	±	±	±
16	±	±	±	±	±	+
18	±	+	+	±	±	+
20	+	+	+	±	+	+
22	+	+	+	±	+	+
24	+	+	+	+	+	+
26	+	+	+	+	+	+
28	+	+	+	+	+	+
30	+	+	+	+	+	+
CMG* (%)	20	20	20	24	24	24

CMG\* - Capacidade mínima de gelificação.

#### 4 - Conclusões

As sementes de ata se destacam com maiores teores de açúcares totais e as sementes de graviola apresentam maior teor de amido, lipídios, proteínas, compostos fenólicos totais e ácido ascórbico.

As farinhas de sementes de ata apresentaram maiores teores de proteínas, lipídios, compostos fenólicos e taninos; as farinhas de sementes de graviola contiveram maior quantidade de amido.

A fluidez das farinhas avaliadas através do Fator de Hausner e do Índice de Carr foram melhores nas farinhas de sementes das duas espécies obtidas a 50 °C. A farinha de sementes de graviola apresentou maior molhabilidade e a farinha de sementes de ata, maior atividade de emulsão e capacidade de gelificação.

## 5- Referências bibliográficas

- ALBUQUERQUE, T. G.; SANTOS, F.; SANCHES-SILVA, A.; OLIVEIRA, M. B.; BENTO, A. C.; COSTA, H. S. Nutritional and phytochemical composition of *Annona cherimola* Mill. fruits and by-products: potential health benefits. **Food Chemistry**, v. 193, p. 187-195, 2016.
- AL-FARGA, A.; ZHANG, H.; SIDDEEG, A.; SHAMOON, M.; CHAMBA, M. V. M.; AL-HAJJ, N. Proximate composition, functional properties, amino acid, mineral and vitamin contents of a novel food: Alhydwan (*Boerhavia elegana* Choisy) seed flour. **Food Chemistry**, v. 211, p. 268-273, 2016.
- ALVES, V. M.; AMORIM, K. A.; ABREU, D. J. M.; SILVA, J. S.; ASQUIERI, E. R.; DAMIANI, C. Extração de taninos de farinha de semente de graviola por ultrassom. **Revista Desafios**, v. 6, n. Especial, p. 54-59, 2019.
- AOAC. Association of Official Analytical Chemists. **Official Methods of Analysis**. 18 th, 3<sup>th</sup> review. Washington: AOAC, 2010. 1094 p.
- ARIMATÉA, C. C.; PAGANI, A. A. C.; CARVALHO, M. S. Elaboração e composição química de pão de forma enriquecido com resíduos agroindustriais de frutas. **Higiene Alimentar**, v. 30, n. 260/261, p. 100-104, 2016.
- AWOLU, O. O.; OLUWAFERANMI, P. M.; FAFOWORA, O. I.; OSEYEMI, G. F. Optimization of the extrusion process for the production of ready-to-eat snack from rice, cassava and kersting's groundnut composite flours. **LWT - Food Science and Technology**, v. 64, n. 1, p. 18-24, 2015.
- AZHARIE, S.; XU, Y. S.; JIANG, Q. X.; XIA, W. S. Physicochemical properties and chemical composition of Seinat (*Cucumis melo* var. *tibish*) seed oil and its antioxidant activity. **Grasas y Aceites**, v. 65, n. 1, e008, 2014.
- BARAHENG, S.; KARRILA, T. Chemical and functional properties of durian (*Durio zibethinus* Murr.) seed flour and starch. **Food Bioscience**, v. 30, e100412, 2019.
- BARROS, S. L.; CÂMARA, G. B.; LEITE, D. D. F.; SANTOS, N. C.; SANTOS, F. S.; SOARES, T. C.; LIMA, A. R. N.; SOARES, T. C.; OLIVEIRA, M. N.; VASCONCELOS, U. A. A.; ALBUQUERQUE, A. P.; QUEIROZ, A. J. Modelagem matemática da cinética de secagem de cascas do kino (*Cucumis metuliferus*). **Research, Society and Development**, v. 9, n. 1, e60911608, 2020.

- BENASSI, M. T.; ANTUNES, A. J. A comparison of metaphosphoric and oxalic acids as extractant solutions for the determination of vitamin C in selected vegetables. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, v. 31, n. 4, p. 507-513, 1988.
- BENDER, A. B.; LUVIELMO, M. M.; LOUREIRO, B. B.; SPERONI, C. S.; BOLIGON, A. A.; SILVA, L. P.; PENNA, N. G. Obtenção e caracterização de farinha de casca de uva e sua utilização em *snack* extrusado. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 19, e. 2016010, 2016.
- BEUCHAT, L. R. Functional and electrophoretic characteristic of succinylated peanut flour proteins. **Journal Agriculture Chemistry**, v. 25, n. 2, p. 258-260, 1997.
- BHUSARI, S. N.; MUZAFFAR, K.; KUMAR, P. Effect of carrier agents on physical and microstructural properties of spray dried tamarind pulp powder. **Powder Technology**, v. 266, n. 1, p. 354-364, 2014.
- BITENCOURT, C.; DUTRA, F. L. G.; PINTO, V. Z.; HELBIG, E.; BORGES, L. R. Elaboração de bolos enriquecidos com semente de abóbora: avaliação química, física e sensorial. **Boletim Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, v. 32, n. 1, p. 19-32, 2014.
- BLIGH, E. G.; DYER, W. J. A rapid method of total lipid extraction and purification. **Canadian Journal Biochemistry Physiological**, v. 27, n. 8, p. 911-917, 1959.
- CANO-CHAUCA, M.; STRINGHETA, P. C.; RAMOS, A. M.; CAL-VIDAL, C. Effect of the carriers on the microstructure of mango power obtained by spray drying and its functional characterization. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 6, n. 4, p. 420-428, 2005.
- CARR, R. L. Evaluating flow properties of solids. **Chemical Engineering Journal**, v. 72, p. 163-168, 1965.
- CASARIN, F.; MENDES, C. E.; LOPES, T. J.; MOURA, N. F. Planejamento experimental do processo de secagem da amora-preta (*Rubus sp.*) para a produção de farinha enriquecida com compostos bioativos. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 19, e.2016025, 2016.
- CRUZ, L. S.; LIMA, R. Z.; ABREU, C. M. P.; CORRÊA, A. D.; PINTO, L. M. A. Caracterização física e química das frações do fruto atemoia ‘Gefner’. **Ciência Rural**, v. 43, n. 12, p. 2280-2284, 2013.
- FENNEMA, O. R.; DAMODARAM, S.; PARKIN, K. L. **Química de alimentos de Fennema**. 4 ed. Porto Alegre: Artmed, 2010. 900 p
- DU, S. K.; JIANG, H.; YU, X.; JANE, J. L.. Physicochemical and functional properties of whole legume flour. **LWT - Food Science and Technology**, v. 55, n. 1, p. 308-313, 2013.

- EASTMAN, J. E.; MOORE, C. O. **Cold water-soluble granular starch for gelled food composition**. U.S. Patent 4465702, 1984.
- FREITAS, E. C.; MORAES, M. O. B.; SILVA, A. C. M. Metabólitos secundários presentes na *Annona muricata* L e suas propriedades nutricionais e funcionais em oncologia. **Revista Brasileira de Obesidade, Nutrição e Emagrecimento**, v. 11, n. 61, p. 19-22, 2017.
- FREUDIG, B.; HOGEKAMP, S.; SCHUBERT, H. Dispersion of powders in liquids in a stirred vessel. **Chemical Engineering and Processing**, v. 38, n. 4-6, p. 525-532, 1999.
- GARCIA, D. M.; ALENCAR, U. R.; MOTA, B. G.; BORGES, I. R.; SOUZA, P. O. Determinação de características tecnológicas de farinhas produzidas a partir de resíduos de polpas de mamão, melão e goiaba e sua utilização na elaboração de biscoitos tipo cookies. **ScientiaTec**, v. 4, n. 1, p. 29-41, 2017.
- GARCIA-SALAS, P.; VERARDO, V.; GORI, A.; CABONI, M. F.; SEGURACARRETERO, A.; FERNADEZ-GUTIÉRREZ, A. Determination of lipid composition of the two principal cherimoya cultivars grown in Andalusian Region. **LWT - Food Science and Technology**, v. 65, p. 390-397, 2016.
- GOLDSTEIN, J. L.; SWAIN, T. Changes in tannin in ripening fruits. **Phytochemistry**, v. 2, n. 4, p. 371-383, 1963.
- GUIMARÃES, D. S.; LUZ, C. A. S.; PERES, W. B.; LUZ, M. L. G. S.; GADOTTI, G. I. **Secagem de grãos e sementes**. Pelotas: Gráfica Santa Cruz, 2015. 314p.
- HANSRA, D. M.; SILVA, O.; MEHTA, A.; AHN, E. Patient with metastatic breast cancer achieves stable disease for 5 years on graviola and xeloda after progressing on multiple lines of therapy. **Advances in Breast Cancer Research**, v. 3, n. 3, p. 84-87, 2014.
- HAUSNER, H. H. Friction conditions in a mass of metal powder. **Powder Metall**, v. 3, n. 4, p. 7-13, 1967.
- INSTITUTO ADOLFO LUTZ (São Paulo). **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008. 1020 p.
- JOSHI, A. U.; LIU, C.; SATHE, S. K. Functional properties of select seed flours. **LWT - Food Science and Technology**, v. 60, n. 1, p. 325-331, 2015.
- KHAN, A.; SAINI, C. S. Efeito da torrefação nas propriedades físico-químicas e funcionais da farinha de linhaça. **Cogent Engineering**, v. 3, n. 1, e1145566, 2016.
- LAWAL, O. S.; ADEBOWALE, K. O. Physicochemical characteristics and thermal properties of chemically modified jack bean (*Canavalia ensiformes*) starch. **Carbohydrate Polymers**, v. 60, n. 3, p. 331-341, 2005.

- LIMA, B. N. B.; LIMA, F. F.; TAVARES, M. I. B.; COSTA, A. M. M.; PIERUCCI, A. P. T. R. Determination of the centesimal composition and characterization of flours from fruit seeds. **Food Chemistry**, n. 1, v. 151, p. 293-299, 2014.
- LIMA, J. P.; PORTELA, J. V. F.; MARQUES, LO-RUAMA; ALCÂNTARA, M. A.; EL-AOUAR, A. A. Farinha de entrecasca de melancia em biscoitos sem glúten. **Ciência Rural**, v. 45, n. 9, p. 1688-1694, 2015.
- MALACRIDA, C. R.; JORGE, N. Yellow passion fruit seed oil (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*): physical and chemical characteristics. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 55, n. 1, p. 127-134, 2012.
- MOGHADAMTOUSI, S. Z.; FADAEINASAB, M.; NIKZAD, S.; MOHAN, G.; ALI, H. M.; KADIR, H. A. *Annona muricata* (Annonaceae): A review of its traditional uses, isolated acetogenins and biological activities. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 16, n. 7, p.15625-15658, 2015.
- MORAIS, D. R.; ROTTA, E. M.; SARGI, S. C.; SCHMIDT, E. M.; BONAFE, E. G.; EBERLIN, M. N.; SAWAYA, A. C. H. F.; VISENTAINER, J. V. Antioxidant activity, phenolics and UPLC–ESI(–)–MS of extracts from different tropical fruits parts and processed peels. **Food Research Internacional**, v. 77, p. 392-399, 2015.
- MUZAFFAR, K.; KUMAR, P. Moisture sorption isotherms and storage study of spray dried tamarind pulp powder. **Powder Technology**, v. 291, n.1, p. 322–327, 2016.
- PAZ, M. F.; MARQUES, R. V.; SCHUMANN, C.; CORRÊA, L. B.; CORRÊA, É. K. Características tecnológicas de pães elaborados com farelo de arroz desengordurado. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 18, n. 2, p. 128-136, 2015.
- PIOVESANA, A.; BUENO, M. M.; KLAJN, V. M. Elaboração e aceitabilidade de biscoitos enriquecidos com aveia e farinha de bagaço de uva. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 16, n. 1, p. 68-72, 2013.
- SANTHALAKSHMY, S.; BOSCO, S. J. D.; FRANCIS, S.; SABEENA, M. Effect of inlet temperature on physicochemical properties of spray-dried jamun fruit juice poder. **Powder Technology**, v. 274, p. 37-43, 2015.
- SANTOS, J. R.; BOÊNO, J. A. Muffins isentos de glúten e lactose desenvolvidos com resíduo de polpa de graviola. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 3, n. 3, p. 42-51, 2016.
- SÃO JOSÉ, A. R.; PIRES, M. M.; FREITAS, A. L. G. E.; RIBEIRO, D. P.; PREREZ, L. A. A. Atualidades e perspectivas das Anonáceas no mundo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 36, n. especial, p. 86-93, 2014.

- SCALOPPI-JUNIOR, E. J.; MARTINS, A. B. G. Estaquia em Anonas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 36, n. especial, p. 147-156, 2014.
- SELANI, M. M.; BRAZACA, S. G. C.; DIAS, C. T. S.; RATNAYAKE, W. S.; FLORES, R. A.; BIANCHINI, A. Characterization and potential application of pineapple pomace in an extruded product for fibre enhancement. **Food Chemistry**, v. 163, p. 23-30, 2014.
- SILVA, A. C.; JORGE, N. Bioactive compounds of the lipid fractions of agro-industrial waste. **Food Research International**, v. 66, p. 493-500, 2014.
- SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 39, p. 3733-3740, 2016.
- SILVA, J. B.; SCHLABITZ, C.; GRÄFF, C.; SOUZA, C. F. V. Biscoitos enriquecidos com farinha de semente de abóbora como fonte de fibra alimentar. **Revista Destaques Acadêmicos**, v. 7, n. 4, p. 174-184, 2015.
- SILVEIRA, M. L. R.; SANTOS, C. O.; PENNA, N. G.; SAUTTER, C. K.; ROSA, C. S.; BERTAGNOLLI, S. M. M. Aproveitamento tecnológico das sementes de goiaba (*Psidium guajava* L.) como farinha na elaboração de biscoitos. **Boletim Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, v. 34, n. 1, p. 1-20, 2016.
- SOUSA, E. C.; UCHÔA-THOMAZ, A. M. A.; CARIOCA, J. O. B.; MORAIS, S. M.; LIMA, A.; MARTINS, C. G.; ALEXANDRINO, C. D.; FERREIRA, P. A. T.; RODRIGUES, A. L. M.; RODRIGUES, S. P.; SILVA, J. N.; RODRIGUES, L. L. Chemical composition and bioactive compounds of grape pomace (*Vitis vinifera* L.), Benitaka variety, grown in the semiarid region of Northeast Brazil. **Food Science Technology**, v. 34, n. 1, p. 135-142, 2014.
- SPADA, F. P.; MANDRO, G. F.; MATTA JUNIOR, M. D.; CANNIATTI-BRAZACA, S. G. Functional properties and sensory aroma of roasted jackfruit seed flours compared to cocoa and commercial chocolate poder. Food Bioscience, v. 37, e 100683, 2020.
- STEVENS, F. J.; CHAPMAN, R. A. The determination of starch in meat products with the anthrone reagent. **Journal of Association of Official Analytical Chemists**, v. 38, n. 2, p. 202-210, 1955.
- TABIRI, B.; AGBENORHEVI, J. K.; WIREKO-MANU, D. W.; OMPOUMA, E. I. Watermelon seeds as food: Nutrient composition, phytochemicals and antioxidant activity. **International Journal of Nutrition and Food Sciences**, v. 5, n. 2, p. 139-144, 2016.

- TELES, A. S. C.; CHÁVEZ, D. W. H.; GOMES, F. S.; CABRAL, L. M. C.; TONON, R. V. Effect of temperature on the degradation of bioactive compounds of Pinot Noir grape pomace during drying. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 21, e2017059, 2018.
- TONON, R. V.; BRABET, C.; HUBINGER, M. D. Aplicação da secagem por atomização para a obtenção de produtos funcionais com alto valor agregado a partir do açaí. **Inclusão Social**, v. 6, n. 2, p. 70-76, 2013.
- VIEIRA, R. F. F. A.; CARVALHO, C. L. S.; CARVALHO, I. R. A.; CANDIDO, C. J.; SANTOS, E. F.; NOVELLO, D. Adição de farinha da casca de melão em cupcakes altera a composição físico-química e a aceitabilidade entre crianças. **Conexão Ciência**, v. 12, n. 2, p. 22-30, 2017.
- WATERHOUSE, A. Folin-ciocalteau micro method for total phenol in wine. **American Journal of Enology and Viticulture**, p. 3-5, 2006.
- YASUMATSU, K.; SAWADA, K.; MORITAKA, S.; MISAKI, M.; TODA, J.; WADA, T. Whipping and emulsifying properties of soy bean products. **Journal of Agriculture and Biological Chemistry**, v. 36, n. 5, p. 719-725, 1972.
- YEMM, E. W.; WILLIS, A. J. The estimation of carbohydrates in plant extracts by anthrone. **Biochemical Journal**, v. 57, n. 3, p. 508-515, 1954.
- ZHOU, K.; WANG, H.; MEI, W.; LI, X.; LUO, Y.; DAI, H. Antioxidant activity of papaya seed extracts. **Molecules**, v. 16, n. 8, p. 6179-6192, 2011.

## ARTIGO 2 - MODELAGEM MATEMÁTICA DA CINÉTICA DE SECAGEM DAS SEMENTES DE ATA E GRAVIOLA E COMPORTAMENTO HIGROSCÓPICO DAS FARINHAS

**Resumo:** Ata e graviola são representantes nobres da família das anonáceas, típicas de climas tropicais e de alta palatabilidade. Têm como característica a alta quantidade de sementes aderidas à polpa, que em processamento industrial geram grande quantidade de resíduos, apesar de constituírem, como próprio de sementes, reservas de nutrientes com amplo potencial de aproveitamento. Sua utilização como fonte de carboidratos, proteínas e lipídios é facilmente viabilizada pela incorporação em farinhas e outras combinações, exigindo um baixo grau de processamento, precedido por tratamentos que ampliem sua vida útil, tendo em vista sua elevada atividade de água no estado in natura. O processo de secagem constitui a intervenção mais prática e menos onerosa para se obter a estabilidade química e microbiológica de sementes, tornando-as aptas a resistir a períodos de estocagem e vida-de-prateleira. Diante disso, realizou-se o trabalho com o objetivo de estudar a secagem de sementes residuais de ata e graviola, descrever o comportamento das amostras sob secagem a 50, 60 e 70 °C com ajustes por modelos preditivos, determinar as difusividades efetivas e as propriedades termodinâmicas e avaliar a higroscopicidade das farinhas obtidas. A cinética de secagem em camada fina em secador de leito fixo, foi realizada com acompanhamento da perda de água em secador convectivo com velocidade do ar de secagem 1,5 m/s. Com os dados das cinéticas de secagem, foram realizados ajustes com nove modelos, obtendo-se os melhores resultados com os modelos Logarítmico Exponencial e Exponencial de Dois Termos. As difusividades efetivas variaram entre 0,85 e  $2,71 \times 10^{-9}$  m<sup>2</sup>/s, com valor mínimo nas sementes de ata e máximo na de graviola, com dependência em relação à temperatura de secagem bem descrita pela relação de Arrhenius. As propriedades termodinâmicas foram influenciadas pela temperatura de secagem, com reduções de entalpia e entropia e aumentos da energia livre de Gibbs. As farinhas das sementes de ata e graviola, foram classificadas como não higroscópicas.

**Palavras-chave:** anonáceas, resíduos agrícolas, sustentabilidade, meio ambiente.

**Abstract:** Ata and soursop are noble representatives of the family of anonáceas, typical of tropical climates and of high palatability. They are characterized by the high quantity of seeds adhered to the pulp, which in industrial processing generate a large amount of residues, despite being, as seed itself, reserves of nutrients with wide potential for use. Its use as a source of carbohydrates, proteins and lipids is easily made possible by the incorporation in flour and other combinations, requiring a low degree of processing, preceded by treatments that extend its useful life, in view of its high water activity in the fresh state. The drying process is the most practical and least costly intervention to obtain the chemical and microbiological stability of seeds, making them able to withstand periods of storage and shelf life. Therefore, the work was carried out with the objective of studying the drying of residual seeds of lime and soursop, describing the behavior of the samples under drying at 50, 60 and 70 °C with adjustments by predictive models, determining the effective diffusivities and the thermodynamic properties and evaluate the hygroscopicity of the flours obtained. The kinetics of drying in a thin layer in a fixed bed dryer was performed with monitoring of water loss in a convective dryer with drying air speed 1.5 m/s. With the drying kinetics data, adjustments were made with nine models, obtaining the best results with the Exponential and Exponential Two-Term Logarithmic models. The effective diffusivities varied between 0.85 and  $2.71 \times 10^{-9}$  m<sup>2</sup>/s, with a minimum value in the minutes and

maximum in the graviola seeds, depending on the drying temperature well described by the Arrhenius relation. Thermodynamic properties were influenced by drying temperature, with reductions in enthalpy and entropy and increases in Gibbs free energy. Flours from the seeds of ata and soursop were classified as non-hygroscopic.

**Keywords:** anonaceous, agricultural residues, sustainability, environment.

## 1 - Introdução

O consumo de frutas do grupo das anonáceas no Brasil vem aumentando a cada dia, com destaque para a ata e a graviola. Grande parte desses frutos é destinada ao processamento em agroindústrias, para a fabricação de sucos, sorvetes, doces, licores, frutas cristalizadas, entre outros (SÃO JOSÉ et al., 2014).

A ata (*Annona squamosa*. L), pinha ou fruta-do-conde, é uma fruta de grande aceitabilidade, considerada uma fruta nobre e tipicamente tropical. Possui polpa branca, doce, de odor suave e agradável e tem baixa acidez, sendo rica em sais minerais e vitaminas. As sementes apresentam teores elevados de proteína bruta, extrato etéreo, fibra insolúvel, compostos químicos e bioativos (SILVA, 2015).

A graviola (*Annona muricata* L.) é uma espécie de grande importância econômica para fruticultura brasileira. A maioria de seus frutos são destinados a elaboração de produtos processados como, polpa, suco, néctar, sorvetes e outros. No seu processamento cascas e sementes são desprezadas, somando como resíduo 30 a 40% do peso total do fruto (SILVA et al., 2015).

Resíduos agroindustriais costumam apresentar alto valor nutricional, podendo ser utilizados na obtenção de produtos, tão importantes quanto a matéria-prima principal, cujo aproveitamento, além do ganho econômico, traz como benefício extra a redução dos impactos ambientais causados pelos descartes das indústrias processadoras. Como materiais de origem agrícola, a deteriorabilidade desses resíduos requer procedimentos que aumentem sua vida útil, provendo condições para sua utilização gradual sob condições de estocagem. Uma das maneiras mais simples de se atingir esse objetivo é reduzindo as concentrações de água livre. Por meio de secagem, que alia baixo custo e simplicidade de operação, com boa conservação a longo prazo, boa manutenção dos componentes aromáticos, que permanecem estáveis à temperatura ambiente, proteção contra degradação enzimática e oxidativa, peso reduzido, redução de gastos energéticos em relação a processos com o uso do frio e a oferta do produto em qualquer período do ano (LEITE et al., 2016; RESENDE et al., 2018).

No projeto e operação de equipamentos de secagem é importante conhecer o comportamento e as propriedades dos materiais submetidos ao processo, e a precisão desse

conhecimento exige dados obtidos com ensaios práticos, haja vista a grande diversidade de estrutura e composição dos materiais biológicos e a influência que essas características exercem nos fenômenos de transferência de calor e massa. A partir dos dados de cinética de secagem, modelos preditivos de comportamento bem estabelecidos descrevem o processo de secagem, fundamentando-se na secagem de camadas delgadas ou finas, e assim a perda de água do produto durante o processo pode ser muito bem representada (MENDONÇA et al., 2015).

Também as propriedades termodinâmicas são relevantes fontes de informação para projetar secadores, calcular a energia necessária no processo, avaliar a microestrutura do material e estudar fenômenos físicos que ocorrem na sua superfície. Essas propriedades tem sido estudadas em diversos produtos, como sementes de milho (*Zea mays* L.) (SMANIOTTO et al., 2012), pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) (SIQUEIRA et al., 2012a), sementes de tucumã-de-goiás (*Astrocaryum huaimi* Mart.) (OLIVEIRA et al., 2014), pimenta de bode (*Capsicum chinense* L. Jacquin) (RODOVALHO et al., 2015), soja (*Glycine max* L.) (CORADI et al., 2016), sementes de níger (*Guizotia abyssinica* Cass) (SILVA et al., 2017a).

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi estudar a cinética de secagem de sementes residuais de ata e graviola em temperaturas de 50, 60 e 70 °C, ajustar modelos matemáticos aos dados experimentais, determinar as difusividades efetivas e as propriedades termodinâmicas das sementes nas secagens e avaliar a higroscopicidade das farinhas obtidas.

## **2 - Material e métodos**

### **2.1 - Matérias-primas**

As sementes de ata (*Annona squamosa* L.) e graviola (*Annona muricata* L.) foram provenientes do descarte de indústrias de polpas de frutas da região de Campina Grande, PB.

### **2.2 - Processamento da matéria-prima**

As sementes foram lavadas em água corrente sanitizadas em solução com hipoclorito de sódio (100 ppm) por 10 min, enxaguadas e dispostas em bandejas de aço inoxidável a fim de eliminar a água residual, em seguida foram estocadas em embalagens plásticas em temperatura de -18 °C até o momento da utilização nos experimentos.

### 2.3 - Cinética de secagem

As sementes foram descongeladas até atingir a temperatura ambiente e em seguida distribuídas em bandejas teladas, e submetidas a secagem em secador de leito fixo, nas temperaturas de secagem de 50, 60 e 70 °C, e velocidade do ar de secagem de 1,5 m/s. As cinéticas de secagem foram determinadas pesando-se as amostras em intervalos regulares de 10, 20, 30 e 60 min, até que atingissem o equilíbrio, sendo então determinada a massa seca em estufa a 105 °C, de acordo com metodologia do Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2008). Com os dados experimentais, foram calculadas as razões do teor de água das amostras, de acordo com a Equação 1.

$$RX = \frac{X - X_e}{X_i - X_e} \quad (1)$$

Em que:

RX - razão do teor de água da amostra (adimensional);

X - teor de água da amostra em um determinado tempo de secagem (b.s.);

X<sub>i</sub> - teor de água inicial da amostra (b.s.);

X<sub>e</sub> - teor de água de equilíbrio da amostra (b.s.).

As taxas de secagem foram determinadas a partir da Equação 2, considerando-se os teores de água (b.s.) em cada intervalo.

$$TX = \frac{X_{t+dt} - X_t}{dt} \quad (2)$$

Em que:

TX - taxa de secagem, 1/min;

X<sub>t+dt</sub> - teor de água em t + dt, (kg de água/kg de matéria seca);

X<sub>t</sub> - teor de água em um tempo específico, b.s.;

dt - intervalo de tempo entre duas medições consecutivas;

t - tempo, min.

Os dados coletados foram ajustados com os modelos matemáticos de Newton, Thompson, Page, Henderson e Pabis, Exponencial de Dois Termos, Logarítmico Exponencial, Dois termos e Midilli (Tabela 1), utilizando-se regressão não linear, pelo método Quase-Newton, com o programa computacional Statistica 7.7<sup>®</sup>.

**Tabela 1** - Modelos matemáticos utilizados para ajustar os dados da cinética de secagem

Designação do modelo	Modelo
Newton	$RX = \exp(-k.t)$
Thompson	$RX = \exp\left(\frac{-a-(a^2+4bt)^{0,5}}{2b}\right)$
Page	$RX = \exp(-k.t^n)$
Henderson e Pabis	$RX = a \exp(-k.t)$
Exponencial de Dois Termos	$RX = a.\exp(-k.t) + (1-a)\exp(-k.a.t)$
Logarítmico Exponencial	$RX = a.\exp(-k_0.t) + (1-a)\exp(-k.a.t)$
Dois Termos	$RX = a.\exp(-k_0.t) + b.\exp(-k_1.t)$
Midilli	$RX = a.\exp(-k.t^n) + b.t$

Onde: RX - razão do teor de água, adimensional; a, b, c, d, e, k, n - parâmetros dos modelos; t - tempo de secagem (min).

Foram utilizados como critérios de ajuste dos modelos matemáticos aos dados experimentais da secagem o coeficiente de determinação ( $R^2$ ), o desvio quadrático médio (DQM) e o qui-quadrado ( $\chi^2$ ), de acordo com as Equações 3, 4 e 5, respectivamente.

$$R^2 = 1 - \left( \frac{\sum_{i=1}^n (RX_{pred,i} - RX_{exp,i})^2}{\sum_{i=1}^n (RX_{exp,i} - RX_{pred,i})^2} \right) \quad (3)$$

$$DQM = \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (RX_{pred,i} - RX_{exp,i})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

$$\chi^2 = \frac{1}{n-N} \sum_{i=1}^n (RX_{exp,i} - RX_{pred,i})^2 \quad (5)$$

Em que:

$R^2$  - coeficiente de determinação;

DQM - desvio quadrático médio;

$\chi^2$  - qui-quadrado;

$RX_{pred,i}$  - razão do teor de água predit pelo modelo;

$RX_{exp,i}$  - razão do teor de água experimental;

n - número de observações;

N - número de constantes do modelo.

## 2.4 - Difusividade efetiva

As difusividades efetivas ( $D_{ef}$ ) foram determinadas por meio do ajuste do modelo matemático da difusão líquida. Foi utilizada a solução analítica da equação de difusão com aproximação da forma geométrica das sementes à de uma esfera (Equação 6) considerando para o diâmetro equivalente das sementes o valor de 0,005 m. Foi utilizado o programa Adsorção Convectiva-Desorption, versão 3.2 para os cálculos (SILVA e SILVA, 2009).

$$RX = X_{eq} - (X_{eq} - X_i) \sum_{n=1}^{16} B_n \exp\left(-\mu_n^2 \frac{D_{ef}}{R^2} t\right) \quad (6)$$

Em que:

$RX$  - razão do teor de água da amostra (adimensional);

$X_{eq}$  - teor de água de equilíbrio;

$X_i$  - teor de água inicial da amostra;

$D_{ef}$  - difusividade efetiva ( $m^2/s$ );

$t$  - tempo (s);

$R$  - raio da semente (m);

$n$  - número de termos.

O número de termos da Equação 6 foi estabelecido em 7, em vez de infinito, e o parâmetro  $B_n$  pela Equação 8:

$$B_n = \frac{6Bi^2}{\mu_n^2(\mu_n^2 + Bi^2 - Bi)} \quad (7)$$

$$Bi = \frac{hR}{D_{ef}} \quad (8)$$

$$\tan \mu = -\frac{\mu}{Bi-1} \quad (9)$$

Em que:

$Bi$  - número de Biot;

$h$  - coeficiente de transferência convectiva de massa (m/s).

Para obter os parâmetros  $h$ ,  $D_{ef}$  e  $Bi$  o processo de otimização foi feito de acordo com a metodologia descrita por Silva et al. (2010). Para avaliar o efeito da temperatura sobre a difusividade efetiva foi aplicada uma equação do tipo Arrhenius (Equação 10).

$$D_{ef} = D_{efo} \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) \quad (10)$$

Em que:

$D_o$  - fator pré-exponencial ( $m^2/s$ );

$E_a$  - energia de ativação ( $kJ/mol$ );

$R$  - constante universal dos gases ( $0,008314 kJ/mol K$ );

$T$  - temperatura absoluta ( $K$ ).

## 2.5 - Propriedades termodinâmicas

Quantificou-se as propriedades termodinâmicas, variação de entalpia, entropia e energia livre de Gibbs, do processo de secagem nas amostras nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C por meio das Equações 11, 12 e 13, respectivamente.

$$\Delta H = E_a - RT \quad (11)$$

$$\Delta S = R \left[ \ln(D_{efo}) - \ln\left(\frac{k_B}{h_p}\right) - \ln T \right] \quad (12)$$

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \quad (13)$$

Em que:

$\Delta H$  - variação de entalpia específica ( $kJ/mol$ );

$\Delta S$  - variação de entropia específica ( $kJ/mol K$ );

$\Delta G$  - variação de energia livre de Gibbs ( $kJ/mol$ );

$k_B$  - constante de Boltzmann ( $1,38 \times 10^{-23} J/K$ );

$h_p$  - constante de Planck ( $6,626 \times 10^{-34} J/s$ );

$T$  - temperatura absoluta ( $K$ ).

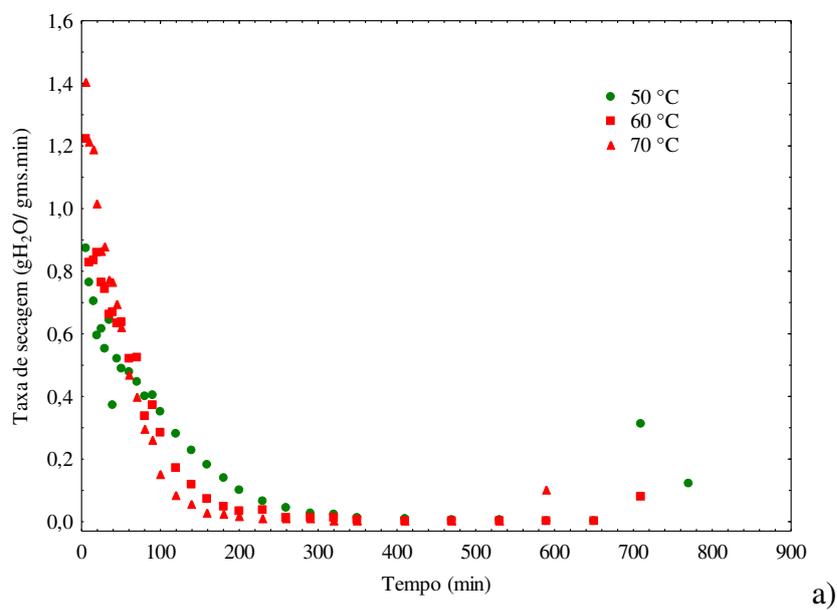
## 2.6 - Higroscopicidade

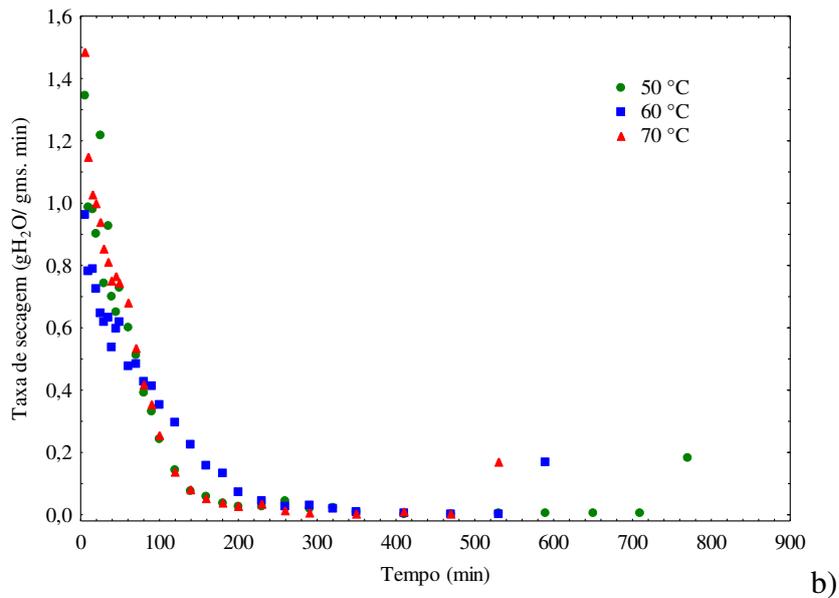
Logo após o processo de desidratação, as sementes foram trituradas em moinho de facas obtendo-se as farinhas das sementes de ata (FSA) e de graviola (FSG) nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C. Em seguida, foi determinado a higroscopicidade de acordo com o método proposto por Cai e Corke (2000), com modificações. Cerca de 1 g da farinha foi pesada em placa de Petri e transferida para recipientes herméticos contendo solução saturada de NaCl ( $UR = 75,29\%$ ) e colocados em câmara com temperatura controlada a 25 °C por sete dias, pesando-se as amostras diariamente. A higroscopicidade foi expressa em g de água adsorvida por 100 g de massa seca.

### 3 - Resultados e discussão

#### 3.1 - Cinética de secagem

Na Figura 1 tem-se a evolução das taxas de secagem das sementes de ata e graviola, respectivamente, nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C. Na ata, verificam-se períodos de taxa de secagem decrescente, seguidos de taxa constante, em tempos progressivamente menores com o inverso da temperatura de secagem. Na temperatura de 70 °C taxas decrescentes se estendem até pouco além dos 150 min, aumentando na temperatura de 60 °C até cerca de 250 min e pouco acima de 300 min na temperatura de 50 °C. Na graviola as taxas decrescentes se assemelham na temperatura de 50 °C, enquanto a 60 e 70 °C iniciam a estabilização em torno de 200 min. No período à taxa decrescente, a superfície do material não é mais saturada com água e a migração de água do interior para a superfície do produto é controlada por difusão molecular, onde a água se movimenta com base no gradiente do conteúdo de água das zonas com maior teor de água para as zonas com valores mais baixos (BEIGI et al., 2016; JOSHI et al., 2016).





**Figura 1** - Taxas de secagem das sementes nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C: a) ata e b) graviola

Nas Tabelas 2 e 3 estão os parâmetros dos modelos matemáticos de Newton, Thompson, Page, Henderson e Pabis, Exponencial de Dois Termos, Logarítmico Exponencial, Dois termos e Midilli ajustados aos dados experimentais das cinéticas de secagem das sementes de ata e graviola, nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C e velocidades do ar de 1,5 m/s, com os respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ), desvios quadráticos médios (DQM) e qui-quadrado ( $\chi^2$ ), utilizados para análise de adequação dos ajuste dos modelos. O DQM variou de 0,0975 a 0,0078 e 0,0887 a 0,0109 para as sementes de ata e graviola, respectivamente. O modelo matemático Logarítmico Exponencial resultou, na maior parte dos casos, nos melhores ajustes para as sementes de ata, sendo superado ligeiramente pelo modelo Exponencial de Dois Termos nos ajustes das secagens de sementes de graviola. Os modelos de Dois Termos, Page, Henderson e Pabis também apresentaram bons ajustes nas faixas de temperaturas estudadas, podendo, também ser utilizados na descrição do comportamento das secagens.

Mendonça et al. (2015), ao secarem sementes de andiroba (*C. surinamensis* e *C. guianensis*) em secador solar, testaram os modelos de Aproximação da difusão, Logarítmico, Midilli, Newton, Page e Thompson, verificando que os modelos Logarítmico e Midilli foram os que melhor se ajustaram aos dados experimentais. Em relação aos coeficientes de determinação ( $R^2$ ) observou-se que somente os modelos Newton e Thompson apresentaram valores inferiores a 99% para as duas espécies de andiroba testadas.

**Tabela 2** - Parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ), desvios quadráticos médios (DQM) e qui-quadrados ( $\chi^2$ ) dos modelos matemáticos ajustados aos dados de secagem das sementes de ata nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C

Modelo	Parâmetro							
	T (°C)				R <sup>2</sup>	DQM	$\chi^2$	
Newton	50	k			0,9396	0,0699	0,0049	
	60	0,0071			0,9980	0,0144	0,0002	
	70	0,0156			0,9980	0,0130	0,0002	
Thompson	50	a	b		R <sup>2</sup>	DQM	$\chi^2$	
	60	0,0047	0,0032		0,9325	0,0738	0,0055	
	70	0,0029	0,0033		0,9028	0,0975	0,0095	
Page	50	k	n		R <sup>2</sup>	DQM	$\chi^2$	
	60	0,0277	0,7116		0,9777	0,0425	0,0018	
	70	0,0177	0,9706		0,9982	0,0133	0,0002	
Henderson e Pabis	50	a	k		R <sup>2</sup>	DQM	$\chi^2$	
	60	0,9144	0,0060		0,9538	0,0611	0,0037	
	70	0,9721	0,0151		0,9986	0,0115	0,0001	
Exponencial de dois termos	50	a	k		R <sup>2</sup>	DQM	$\chi^2$	
	60	0,2491	0,0205		0,9654	0,0529	0,0028	
	70	0,0332	0,4513		0,9989	0,0105	0,0001	
Logarítmico exponencial	50	a	k <sub>0</sub>	k	R <sup>2</sup>	DQM	$\chi^2$	
	60	0,0134	0,0116	0,0013	0,9920	0,0255	0,0006	
	70	0,0354	3,3490	0,4220	0,9989	0,0103	0,0001	
Dois termos	50	a	k <sub>0</sub>	b	k <sub>1</sub>	R <sup>2</sup>	DQM	$\chi^2$
	60	0,7733	0,0108	0,2073	0,0008	0,9925	0,0109	0,0001
	70	0,4877	0,0151	0,4877	0,0151	0,9987	0,0115	0,0001
Midilli	50	a	k	n	b	R <sup>2</sup>	DQM	$\chi^2$
	60	0,4883	0,0216	0,4890	0,0216	0,9988	0,0102	0,0001
	70	0,6191	-0,069	0,0000	-0,0010	0,8216	0,0322	0,0234
	60	0,9666	0,0133	1,0296	0,0000	0,9987	0,0112	0,0001
	70	0,9771	0,0230	0,9858	0,0000	0,9890	0,0112	0,0001

Smaniotto et al. (2017) estudando secagem de sementes de girassol sob diferentes condições do ar (temperatura e umidade relativa), testaram os modelos de Wang e Singh, Verma, Thompson, Page, Newton, Midilli, Logarítmico, Henderson e Pabis, Exponencial de Dois Termos, Dois termos e Aproximação da Difusão, verificando que o modelo Wang & Singh apresentou os melhores ajustes aos dados experimentais. Os autores citam que coeficientes de determinação ( $R^2$ ) apresentaram valores superiores a 0,95 para todas as temperaturas de secagem, já em relação ao teste do qui-quadrado, os onze modelos ficaram dentro do intervalo de confiança de 99%. Porém, comparando a magnitude dos valores,

apenas os modelos Wang e Singh, Verma, Page, Midilli, Logarítmico e Aproximação da Difusão exibiram valores menores em comparação aos demais, para todas as temperaturas estudadas.

O parâmetro “k” dos modelos de Newton, Henderson e Pabis e Exponencial de dois termos para as sementes de ata aumentou com o incremento de temperatura, corroborando os resultados de Lopes et al. (2015). Já para o modelo de Page, não houve tendência definida, concordando com Reis et al. (2011), que não observaram tendência clara de variação no parâmetro “k” do modelo de Page com o aumento da temperatura do ar de secagem. De acordo com Corrêa et al. (2010), o parâmetro “k” tende a aumentar com a temperatura, conduzindo a menores tempos de obtenção de teores de água de equilíbrio.

Para os modelos de Midilli e Page não se observa tendência definida de aumento ou decréscimo do parâmetro “n” com o incremento da temperatura, verificando-se a diminuição apenas nas temperaturas de 60 para 70 °C nas sementes de ata. Para as sementes de graviola, percebe-se um aumento do parâmetro “n” no modelo de Page e um decréscimo no modelo de Midilli. O parâmetro “n” possui um efeito de moderação do tempo e corrige os prováveis erros resultantes da negligência da resistência interna para a transferência de água (MENDONÇA et al., 2019). Resultados semelhantes também foram observados por Rosa et al. (2017) na secagem de farinha de mesocarpo de babaçu em estufa nas temperaturas de 40, 50 e 60 °C; os autores observaram que ocorreu a diminuição do valor de “n” com aumento da temperatura no modelo Midilli.

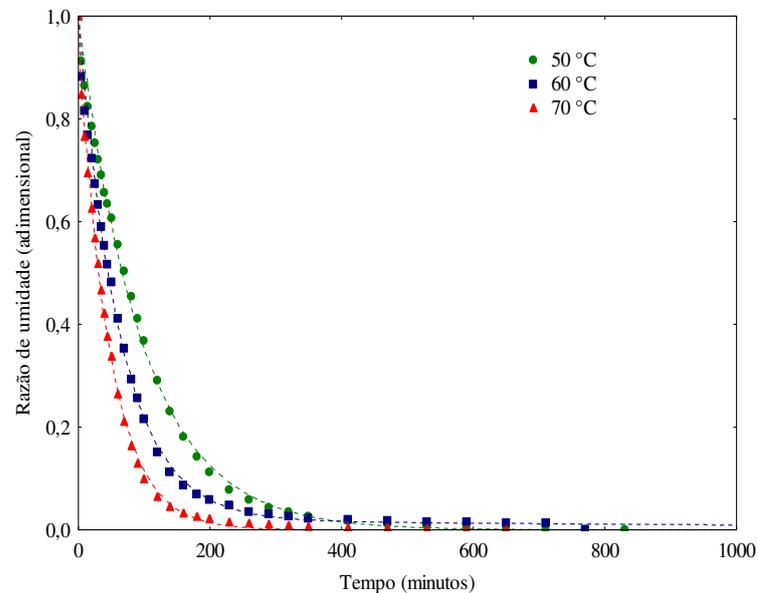
**Tabela 3** - Parâmetros, coeficiente de determinação ( $R^2$ ), desvios quadráticos médios (DQM) e qui-quadrados ( $\chi^2$ ) dos modelos matemáticos ajustados aos dados de secagem das sementes de graviola nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C

Modelo	Parâmetro							
	T (°C)				R <sup>2</sup>	DQM	$\chi^2$	
Newton	50	k			0,9971	0,0163	0,0002	
	60	0,0167			0,9969	0,0182	0,0003	
	70	0,0118			0,9977	0,0148	0,0002	
Thompson	50	a	b		R <sup>2</sup>	DQM	$\chi^2$	
	60	0,0029	0,0033		0,9150	0,0887	0,0079	
	70	0,0026	0,0027		0,9386	0,0778	0,0125	
Page	50	k	n		R <sup>2</sup>	DQM	$\chi^2$	
	60	0,0212	0,9409		0,9978	0,0142	0,0002	
	70	0,0125	0,9890		0,9969	0,0181	0,0003	
Henderson e Pabis	50	a	k		R <sup>2</sup>	DQM	$\chi^2$	
	60	0,9753	0,0162		0,9977	0,0145	0,0002	
	70	0,9758	0,0115		0,9976	0,0159	0,0003	
Exponencial de dois termos	50	a	k		R <sup>2</sup>	DQM	$\chi^2$	
	60	0,9828	0,0176		0,9981	0,0137	0,0002	
	70	0,0355	0,4489		0,9980	0,0137	0,0002	
Logarítmico exponencial	50	a	k <sub>0</sub>	k	R <sup>2</sup>	DQM	$\chi^2$	
	60	0,0524	0,0030	0,3475	0,9985	0,0118	0,0001	
	70	0,0887	0,0119	0,1339	0,9969	0,0182	0,0003	
Dois termos	50	a	k <sub>0</sub>	b	k <sub>1</sub>	R <sup>2</sup>	DQM	$\chi^2$
	60	0,9455	0,0175	0,0392	0,0024	0,9987	0,0109	0,0001
	70	0,4879	0,0115	0,4879	0,0115	0,9976	0,0137	0,0002
Midilli	50	a	k	n	b	R <sup>2</sup>	DQM	$\chi^2$
	60	0,4914	0,0176	0,4914	0,0176	0,9981	0,0137	0,0002
	70	0,9699	0,0001	2,7769	0,0001	0,8207	0,0740	0,0270
	60	0,9533	0,0081	1,0716	0,0000	0,9982	0,0137	0,0002
	70	8,1270	1,6208	0,0000	-0,0139	0,9872	0,0767	0,0001

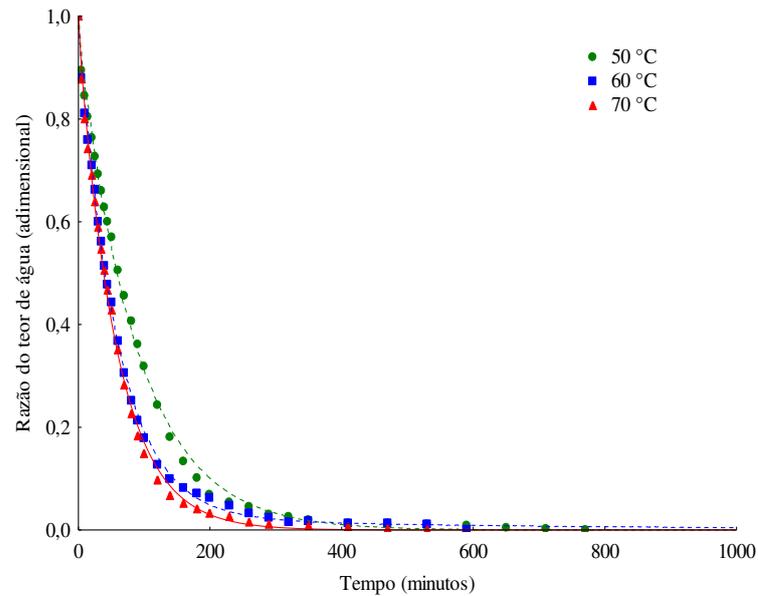
Estão apresentadas nas Figuras 2 e 3 as curvas da cinética de secagem das sementes de ata e graviola, nas temperaturas de 50 a 70 °C ajustadas pelo modelo de Logarítmico Exponencial (ata) e Exponencial de dois termos (graviola), verificando-se efeito bem demarcado das diferenças de temperatura na secagem de ata, enquanto na secagem de graviola, nos tempos iniciais, até cerca de 100 min, a diferença do aumento de temperatura entre 60 e 70 °C não se reflete no comportamento de secagem. As reduções no tempo de secagem com o aumento da temperatura estão relacionadas ao aumento na pressão de vapor parcial interna promovido por maiores temperaturas, que aumenta a diferença entre a pressão

de vapor do ar de secagem e do produto, removendo a água com mais facilidade e rapidez (KUMAR et al., 2014).

Os tempos de secagem foram de 790, 710 e 600 min para as sementes de ata nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C, respectivamente; já para as sementes de graviola, os tempos de secagem foram de 770, 600 e 530 min para as temperaturas de 50, 60 e 70 °C, respectivamente. Observa-se influência da temperatura nas curvas de secagem, apresentando redução consistente nos tempos de desidratação com o aumento da temperatura do ar de secagem, comportamento relatado em produtos agrícolas (MARTINS et al., 2014; MELO et al., 2015; GONÇALVES et al., 2016). Igual comportamento é reportado com sementes de pinhão manso (SIQUEIRA et al., 2012b) e sementes de abacate (AVHAD e MARCHETTI, 2016).



**Figura 2** - Cinética de secagem das sementes de ata ajustadas ao modelo de Logarítmico Exponencial, nas temperaturas de secagem de 50 a 70 °C



**Figura 3** - Cinética de secagem das sementes de graviola ajustadas ao modelo de Exponencial de dois termos, nas temperaturas de secagem de 50 a 70 °C

### 3.2 - Difusividade efetiva

Na Tabela 4 estão apresentados os valores das difusividades efetivas ( $D_{ef}$ ), número de Biot ( $Bi$ ), coeficientes de transferência de massa ( $h$ ), coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e qui-quadrado ( $\chi^2$ ) obtidos na secagem das sementes de ata e graviola nas temperaturas de 50 a 70 °C. Observa-se bons coeficientes de ajuste pelo modelo difusional, com coeficientes de determinação acima de 0,990 e baixos valores de qui-quadrado.

**Tabela 4** - Valores das difusividades efetivas ( $D_{ef}$ ), número de Biot ( $Bi$ ), coeficientes de transferência de massa ( $h$ ), coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e qui-quadrado ( $\chi^2$ ) obtidos na secagem das sementes de ata e graviola em temperaturas de 50 a 70 °C

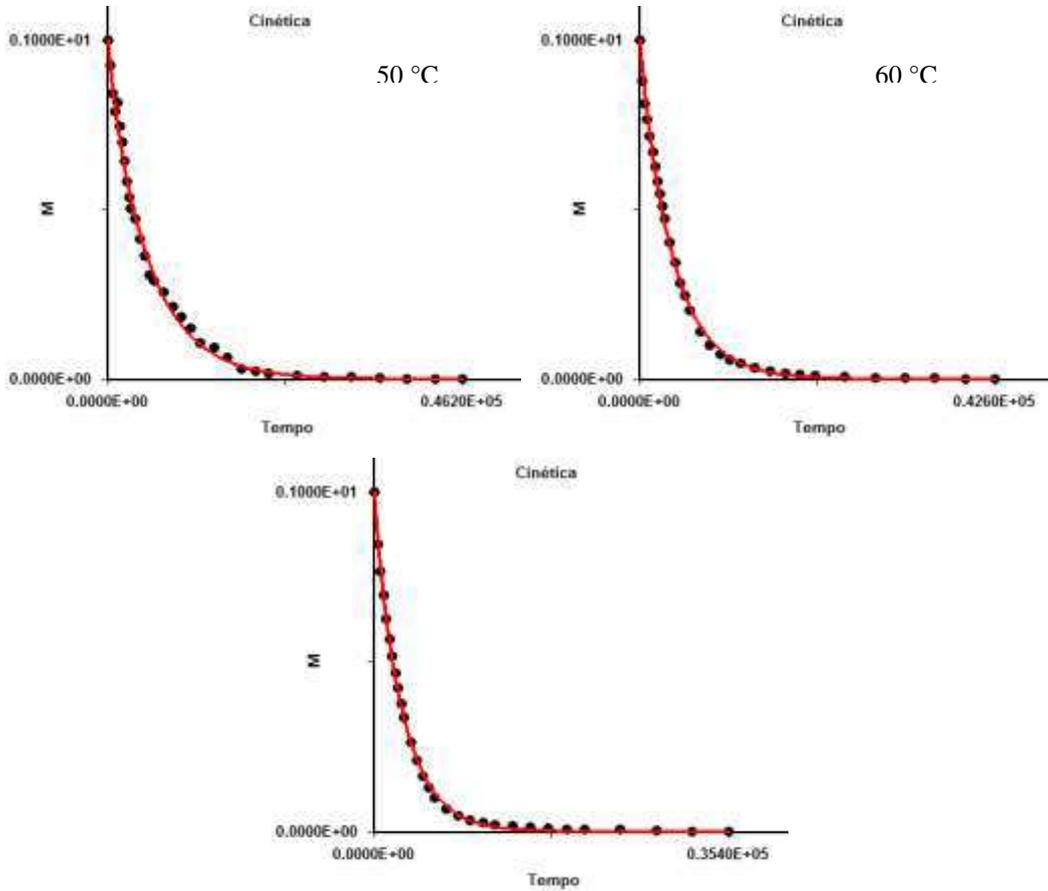
	T (°C)	h (m/s)	$D_{ef}$ (m <sup>2</sup> /s)	Bi	$R^2$	$\chi^2$
<b>Sementes de ata</b>	50	$5,3156 \times 10^{-7}$	$0,8573 \times 10^{-9}$	31,00	0,9963	$1,2297 \times 10^{-2}$
	60	$5,6362 \times 10^{-7}$	$1,8181 \times 10^{-9}$	15,50	0,9985	$4,8188 \times 10^{-3}$
	70	$8,8128 \times 10^{-7}$	$2,0029 \times 10^{-9}$	22,00	0,9989	$2,9262 \times 10^{-3}$
	T (°C)	h (m/s)	$D_{ef}$ (m <sup>2</sup> /s)	Bi	$R^2$	$\chi^2$
<b>Sementes de graviola</b>	50	$4,1788 \times 10^{-7}$	$1,4662 \times 10^{-9}$	14,25	0,9977	$8,2092 \times 10^{-3}$
	60	$6,3253 \times 10^{-7}$	$1,6645 \times 10^{-9}$	19,00	0,9984	$5,3860 \times 10^{-3}$
	70	$6,0931 \times 10^{-7}$	$2,7080 \times 10^{-9}$	11,25	0,9980	$5,5006 \times 10^{-3}$

Os valores do coeficiente de transferência de massa apresentaram tendência de acréscimo com o aumento da temperatura de secagem para as sementes de ata e de graviola, indicando maior quantidade de calor transferida nas temperaturas mais elevadas, atingindo o maior valor na secagem a 70 °C das sementes de ata. Santos et al. (2019) ao determinarem o coeficiente de transferência de massa em arroz preto (*Oryza sativa* L.) nas temperaturas de 40 a 80 °C, obtiveram valores que variaram de 3,75 a 60,8 x 10<sup>-5</sup> m min<sup>-1</sup>, reiterando os autores que valores elevados do coeficiente de transferência de calor resultam em menores tempos requeridos para se atingir a umidade de equilíbrio.

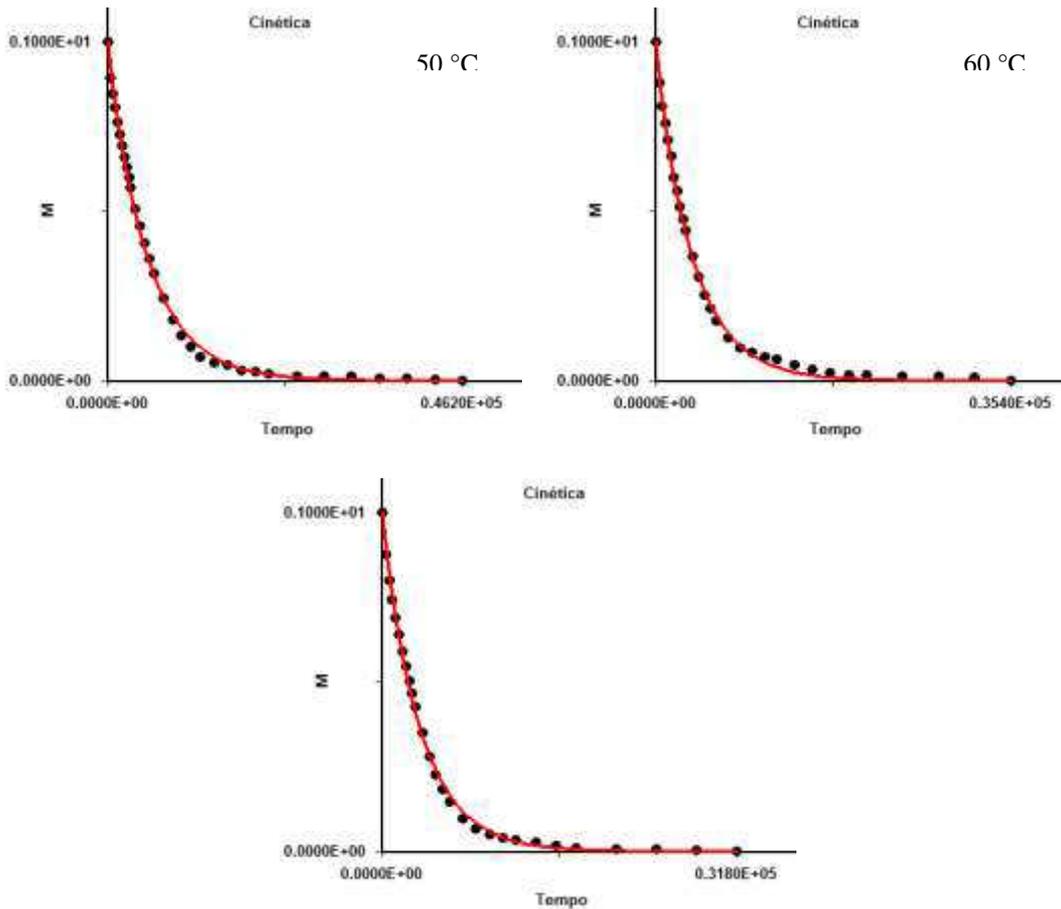
Observa-se aumento nos valores de difusividade efetiva com os aumentos de temperatura, situando-se todas as determinações na faixa reportada para gêneros alimentícios, de 10<sup>-11</sup> a 10<sup>-9</sup> m<sup>2</sup>/s (MADAMBA, 1996). Silva et al. (2018), ao estudarem a cinética de secagem de sementes de melão, obtiveram valores de difusividade variando de 1,553 x 10<sup>-10</sup> m<sup>2</sup>/s a 2,091 x 10<sup>-10</sup> m<sup>2</sup>/s quando a temperatura de secagem variou de 35 a 50 °C. Silva et al. (2019), ao determinarem a difusividade efetiva em grãos de sorgo, também observaram aumentos com o incremento da temperatura de secagem de 40 a 80 °C. Alterações na difusividade são atribuídas a composição dos produtos, como conteúdo lipídico, teor de água e, principalmente, dimensões, forma geométrica e estrutura de cada material. A difusividade efetiva é diretamente influenciada pelo aumento da temperatura, que incrementa o movimento da água contida no produto (SANTOS et al., 2014; CRUZ et al., 2015; KHAN et al., 2017; OLAWOYE et al., 2017; DENG et al., 2018; SOUSA et al., 2018; ALTAY et al., 2019).

Nos valores do número de Biot, não se observa uma tendência definida com o aumento da temperatura de secagem, com valores variando entre 11,25 e 31,00. O número de Biot é um adimensional que correlaciona a taxa de condução interna com a taxa de convecção externa, indicando a resistência interna do produto ao processo de transferência de calor e massa (BEZERRA et al., 2015; FERREIRA et al., 2020). A elevação da temperatura do ar de secagem desenvolve maior gradiente de umidade entre o produto e o ar, acarretando maior taxa de remoção de água, independentemente do tipo do material utilizado (RIBEIRO et al., 2019). Segundo Strumillo e Kudra (1986) quando 0,2 < Bi < 50 indica que as condições externas e internas são relevantes no processo porque as resistências externas e internas à transferência de massa são da mesma ordem de grandeza. A estrutura interna do material e as características da camada limite influenciam o processo de secagem.

Nas Figuras 4 e 5 tem-se os valores de razão do teor de água em função do tempo nas secagens de sementes de ata e graviola, nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C, com curvas de ajuste pelo modelo difusional.

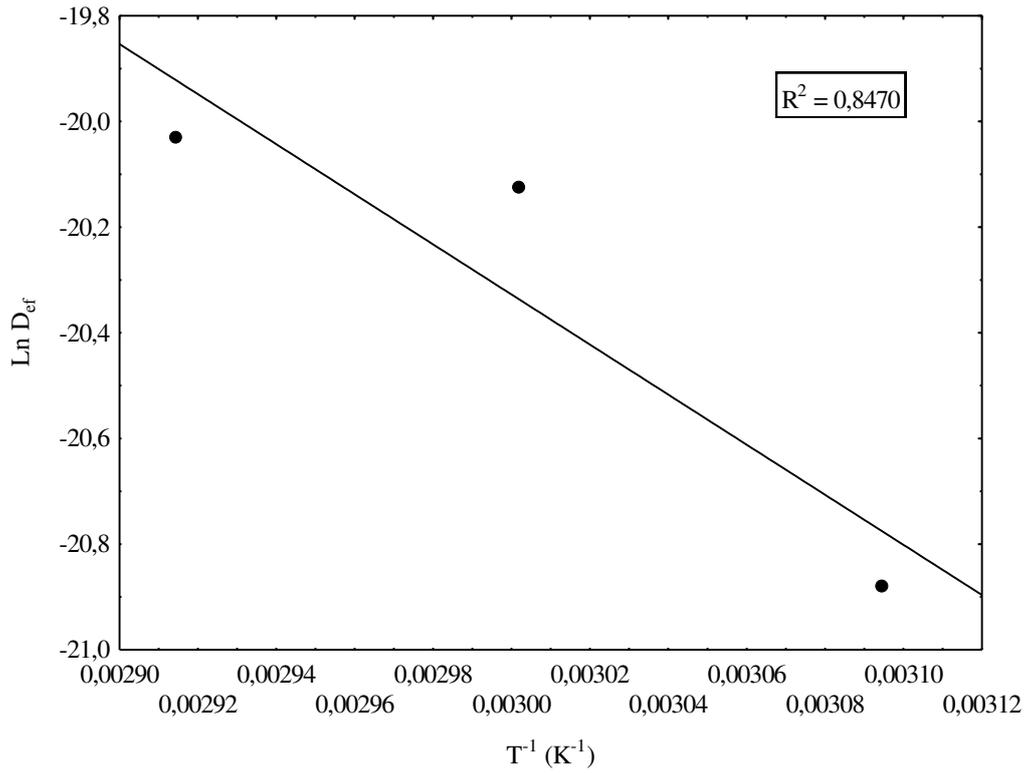


**Figura 4** - Razões de teor de água em função do tempo das cinéticas de secagem das sementes de ata, nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C, com ajustes pelo modelo difusional

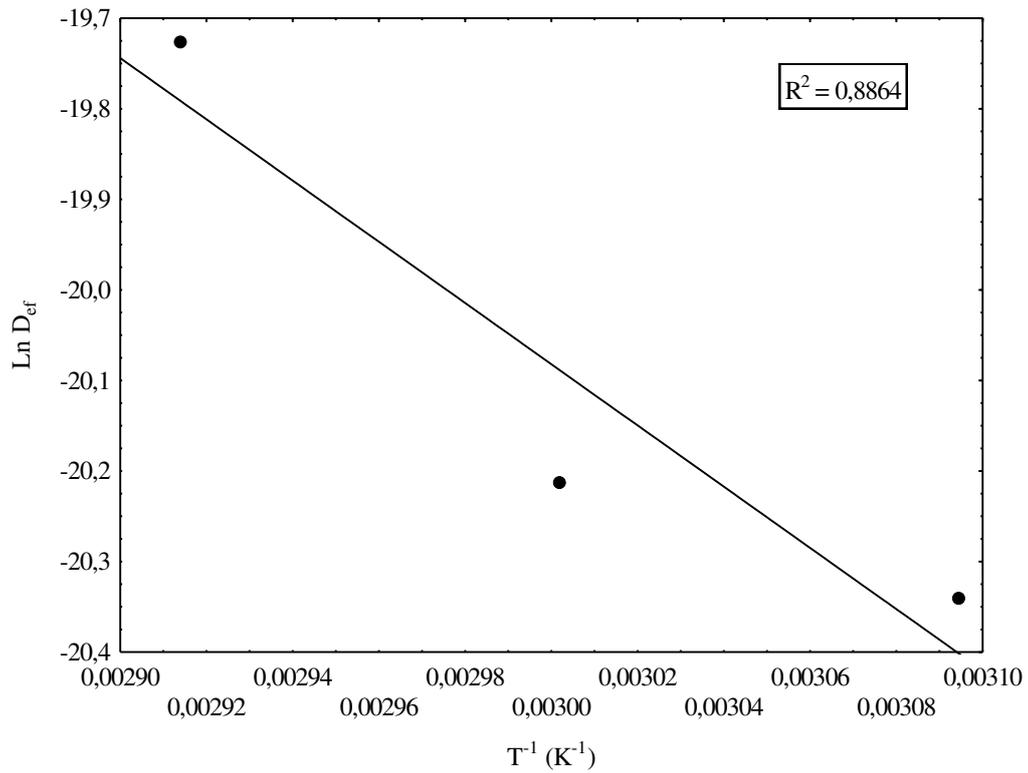


**Figura 5** - Razões do teor de água em função do tempo das cinéticas de secagem das sementes de graviola, nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C, com ajustes pelo modelo difusional.

São apresentados na Figura 6 as difusividades efetivas ( $D_{ef}$ ), representados na forma de 'ln  $D_{ef}$ ', em função do inverso da temperatura absoluta, obtidas nas secagens das sementes de ata e graviola, respectivamente, com ajustes pela equação de Arrhenius.



a)



b)

**Figura 6** - Representação da equação de Arrhenius para os valores da difusividade efetiva em função do inverso da temperatura obtidos na secagem das sementes de: a) ata; e b) graviola

Observa-se que a dependência da difusividade em relação à temperatura de secagem é descrita pela Equação de Arrhenius, com valores de  $R^2$  de 0,8470 nas sementes de ata e de 0,8864 nas sementes de graviola.

A energia de ativação é obtida da inclinação da reta da representação da equação de Arrhenius, conforme a Figura 6, a partir dos valores de 'ln Def' versus o inverso da temperatura absoluta ( $1/T$ ) e da relação  $(-E_a/R)$ , enquanto o 'ln Def<sub>0</sub>' é gerado da interseção da curva com o eixo das ordenadas.

A energia de ativação é a energia mínima necessária para iniciar o movimento de difusão da água no processo de secagem dos produtos agrícolas (OLAWOYE et al., 2017), constituindo, conforme Deng et al. (2018), um importante indicador na avaliação da energia consumida no processo. O processo de secagem das sementes de ata e graviola apresentou energia de ativação de 39,41 e 28,10 kJ/mol, respectivamente. De acordo com Silva et al., 2018, as diferenças de valores são atribuídas as características intrínsecas das amostras, como a higroscopicidade, a morfologia e as condições ambientais em que estão inseridas. Os mesmos autores encontraram energia de ativação para difusão líquida das sementes de melão amarelo de aproximadamente 55,81 kJ/mol. Melo et al. (2016) citam que nos processos de secagem quanto menor a energia de ativação maior será a difusividade de água no produto (MELO et al., 2016).

### 3.3 - Propriedades termodinâmicas

Na Tabela 5 são apresentados os valores das propriedades termodinâmicas das sementes de ata e graviola, desidratadas a 50, 60 e 70 °C. A entalpia e entropia diminuiram com o aumento da temperatura de secagem tanto para as sementes de ata como de graviola, indicando uma menor demanda de energia no processo de secagem em temperaturas mais altas. A entalpia está relacionada à energia necessária para remover a água aderida ao produto durante o processo de secagem, diminuindo com o aumento da temperatura de secagem (OLIVEIRA et al., 2010). Um alto valor de entalpia em temperaturas mais baixas significa que uma quantidade maior de energia é requerida no processo (GONELI et al., 2010). O aumento da temperatura de secagem, que acarreta aumento da pressão parcial de vapor da água no produto, aumenta o grau de agitação molecular e redução na viscosidade da água, propiciando o aumento da velocidade de difusão da água e a redução da entropia (GONELI et al., 2017).

Os valores para a energia livre de Gibbs aumentaram com o incremento da temperatura de secagem e os valores positivos indicam reação endergônica, ou seja, as secagens não ocorreram espontaneamente (SILVA et al., 2017b; RESENDE et al., 2018), exigindo energia do meio circundante para disponibilizar os locais de sorção (ALVES e RODOVALHO, 2016).

**Tabela 5** - Valores médios das propriedades termodinâmicas das sementes de ata e graviola desidratadas nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C

	Temperatura (°C)	$\Delta H$ (kJ/mol)	$\Delta S$ (kJ/mol K)	$\Delta G$ (kJ/mol)
<b>Sementes de ata</b>	50	36,722	-0,2964	132,49
	60	36,64	-0,2966	135,45
	70	36,55	-0,2969	138,42
	Temperatura (°C)	$\Delta H$ (kJ/mol)	$\Delta S$ (kJ/mol K)	$\Delta G$ (kJ/mol)
<b>Sementes de graviola</b>	50	25,42	-0,3282	131,48
	60	25,34	-0,3285	134,77
	70	25,25	-0,3287	138,05

$\Delta H$  - entalpia;  $\Delta S$  - entropia;  $\Delta G$  - energia livre de Gibbs

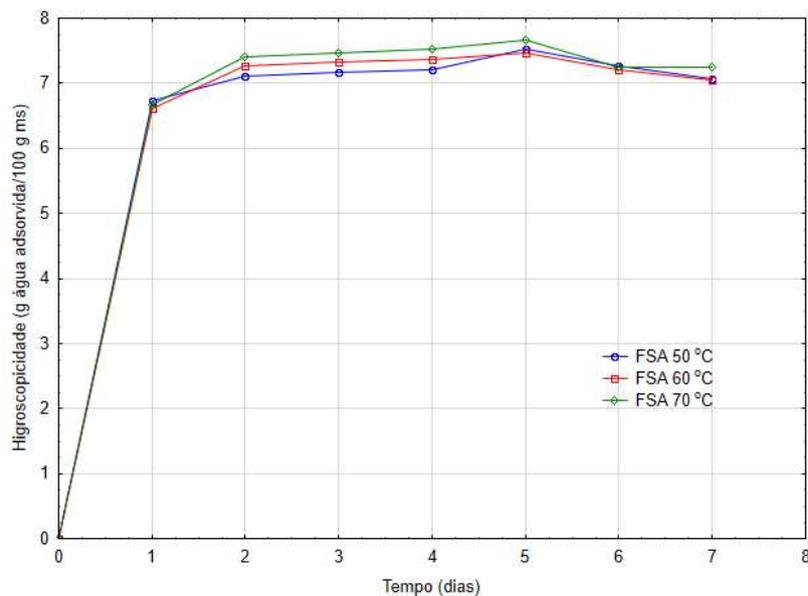
### 3.4 - Higroscopicidade

Na Figura 7 se encontram as curvas do comportamento higroscópico, a 25 °C e umidade relativa de 75,29%, das farinhas das sementes de ata (FSA) e graviola (FSG) obtidas em diferentes temperaturas de secagem. Conforme se observa nas Figuras 1a e 1b, as amostras se mostraram não higroscópicas tendo em vista a classificação de Gea Niro Research Laboratory (2020), que considera que valores abaixo de 10% identificam baixos níveis de adsorção de água. Essa baixa higroscopicidade das farinhas é uma característica desejável, de forma que poderá contribuir para o menor custo com embalagens, maior estabilidade, estando menos susceptíveis ao ataque por microrganismos e reações enzimáticas, consequentemente com maior vida útil. Nos primeiros dois dias de teste as amostras atingiram valores próximos da máxima adsorção de água, com variações mais discretas entre o segundo e o sétimo dia. Ao longo de sete dias de armazenamento os valores variaram entre 6,62 e 7,67 g água adsorvida/100 g ms e entre 6,48 e 7,92 g água adsorvida/100 g ms, para as farinhas de ata e graviola, respectivamente. A higroscopicidade de água pode ser influenciada pela composição química e tamanho das partículas, de forma que quanto maior a área superficial, maior será a absorção de água (FRITZEN-FREIRE et al., 2012; REZENDE et al., 2018).

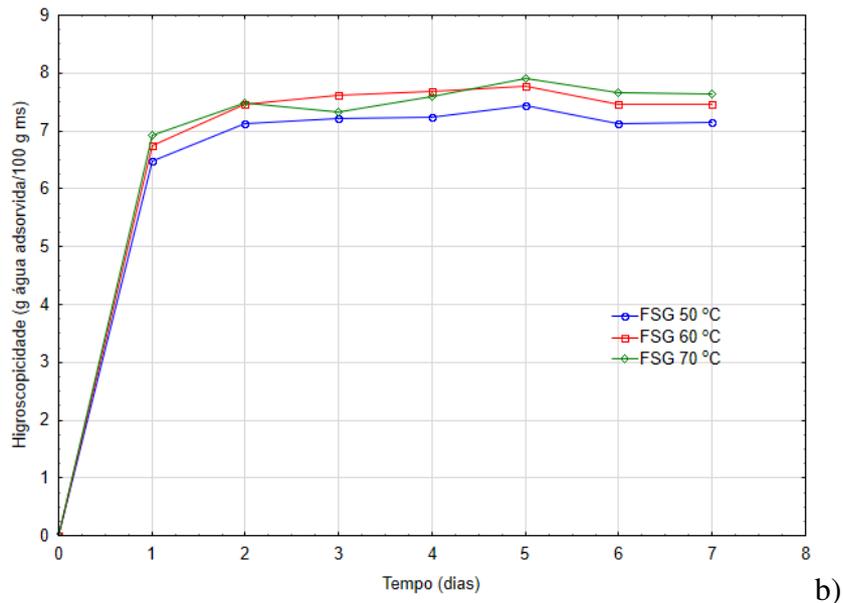
Nota-se, de forma geral, que existe uma tendência de aumento da higroscopicidade com o aumento da temperatura de secagem. Comportamento semelhante foi verificado por Freitas et al. (2019) para a higroscopicidade de pó de abacaxi obtido em duas temperaturas de secagem por aspersão (100 e 120 °C).

A higroscopicidade é a capacidade do material absorver umidade da atmosfera e quando é alta causa agregação das partículas em pó, que afeta as propriedades nutricionais e de escoamento do pó (MAHDI et al., 2020). A baixa higroscopicidade das farinhas facilita sua conservação e preservação da cor e dos compostos bioativos (REZENDE et al., 2018).

Valores superiores de higroscopicidade foram encontrados por Menezes Filho et al. (2019) em farinhas de resíduos de laranja e melancia com valores variando de 13 a 20 g H<sub>2</sub>O/100 g ms. A higroscopicidade pode variar consideravelmente mesmo entre materiais semelhantes, como se vê em Silva et al. (2013), que encontraram para dois tipos de farinhas de tapioca valores de higroscopicidade variando de 17 a 58 g H<sub>2</sub>O/100 g ms.



**Figura 7** - Valores médios da higroscopicidade (g/ 100 g) das farinhas das sementes de ata (FSA) desidratadas nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C



**Figura 8** - Valores médios da higroscopicidade (g/ 100 g) das farinhas das sementes de graviola (FSG) desidratadas nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C

#### 4 - Conclusões

Os dois tipos de sementes apresentaram períodos à taxa de secagem decrescente indicando que a difusão é o mecanismo físico predominante na secagem, com tempos de secagem entre 600 e 790 min para a ata e entre 530 e 770 min para a graviola;

Os modelos Logarítmico Exponencial e Exponencial de Dois Termos produziram os melhores ajustes aos dados das cinéticas de secagens das sementes de ata e graviola, respectivamente, com desempenho satisfatório também dos modelos Dois Termos, Page e Henderson e Pabis;

Os valores da difusividade efetiva situaram-se entre  $0,85 \times 10^{-9}$  e  $2,00 \times 10^{-9}$  m<sup>2</sup>/s nas secagens das sementes de ata e entre  $1,4662 \times 10^{-9}$  e  $2,7080 \times 10^{-9}$  m<sup>2</sup>/s nas sementes de graviola, tendo a dependência com a temperatura bem descrita pela equação de Arrhenius, com energias de ativação de 39,41 nas sementes de ata e de 28,10 kJ/mol nas sementes de graviola. O coeficiente de transferência de massa e o número de Biot não demonstraram influência da temperatura de secagem;

As propriedades termodinâmicas foram influenciadas pela temperatura de secagem, com reduções de entalpia e entropia e aumentos da energia livre de Gibbs;

As farinhas das sementes de ata e graviola, foram classificadas como não higroscópicas, com as máximas taxas de adsorção de água nas primeiras 48 horas de exposição à umidade, mantendo a seguir valores aproximadamente constantes.

## 5 - Referências bibliográficas

- ALTAY, K.; HAYALOGLU, A. A.; DIRIM, S. N. Determination of the drying kinetics and energy efficiency of purple basil (*Ocimum basilicum* L.) leaves using different drying methods. **Heat and Mass Transfer**, v. 55, n. 8, p. 2173-218, 2019.
- ALVES, J. J. L.; RODOVALHO, R. S. Cinética de secagem em camada de espuma da polpa de abacate CV 'Quintal' (*Persea americana* Mill). **Revista Agrotecnologia**, v. 6, n. 1, p. 86-99, 2016.
- AVHAD, M.; MARCHETTI, J. Mathematical modelling of the drying kinetics of Hass avocado seeds. **Industrial Crops and Products**, v. 91, p. 76-87, 2016.
- BEIGI, M. Hot air drying of apple slices: dehydration characteristics and quality assessment. **Heat and Mass Transfer**, v. 52, n. 8, p. 435-1442, 2016.
- BEZERRA, C. V.; MELLER DA SILVA, L. H.; CORRÊA, D. F.; RODRIGUES, A. M. C. A modeling study for moisture diffusivities and moisture transfer coefficients in drying of passion fruit peel. **International Journal of Heat and Mass Transfer**, v. 85, p. 750-755, 2015.
- CAI, Y. Z.; CORKE, H. Production and properties of spray-dried *Amaranthus* betacyanin pigments. **Journal of Food Science**, v. 65, n. 6, p. 1248-1252, 2000.
- CORADI, P. C.; FERNANDES, C. H. P.; HELMICH, J. C. Adjustment of mathematical models and quality of soybean grains in the drying with high temperatures. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 4, p. 385-392, 2016.
- CORRÊA, P. C.; OLIVEIRA, G. H. H.; BOTELHO, F. M.; GONELI, A. L. D.; CARVALHO, F. M. Modelagem matemática e determinação das propriedades termodinâmicas do café (*Coffea arabica* L.) durante o processo de secagem. **Revista Ceres**, v. 57, n. 5, p. 595-601, 2010.
- CRUZ, A. C.; GUINÉ, R. P. F.; GONÇALVES, J. C. Drying kinetics and product quality for convective drying of apples (cvs. Golden Delicious and Granny Smith). **International Journal of Fruit Science**, v. 15, n. 1, p. 54-78, 2015.
- DENG, L.-Z.; YANG, X.-H.; MUJUMDAR, A. S.; ZHAO, J.-H.; WANG, D.; ZHANG, Q.; WANG, J.; GAO, Z.-J.; XIAO, H.-W. Red pepper (*Capsicum annuum* L.) drying: Effects of different drying methods on drying kinetics, physicochemical properties, antioxidant capacity, and microstructure. **Drying Technology**, v. 36, n. 8, p. 893-907, 2018.
- FERREIRA, J. P. D. L.; CASTRO, D. S. D.; MOREIRA, I. D. S.; SILVA, W. P. D.; DE FIGUEIRÊDO, R. M.; QUEIROZ, A. J. D. M. Cinética de secagem convectiva de cubos de

mamão pré-tratados osmoticamente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, n. 3, p. 200-208, 2020.

FREITAS, E. F. M.; LOPES, L. L.; ALVES, S. M. F.; CAMPOS, A. J. Efeito da maltodextrina no sumo da polpa de abacaxi 'Pérola' atomizado. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 42, n. 1, p. 271-280, 2019.

FRITZEN-FREIRE, C. B.; PRUDÊNCIO, E. S.; AMBONI, R. D. M. C.; PINTO, S. S.; NEGRÃO-MURAKAMI, A. N.; MURAKAMI, F. S. Microencapsulation of bifidobacteria by spray drying in the presence of prebiotics. **Food Research International**, v. 45, n. 1, p. 306-312, 2012.

GEA NIRO RESEARCH LABORATORY. GEA Niro analytical methods. Disponível em: <http://www.niro.com/methods>. Acesso em: 01 de julho de 2020.

GONÇALVES, J. Q.; SILVA, M. A. P.; PLÁCIDO, G. R.; SILVA, M. C.; MARINS, R.; MOURA, L. C.; SOUZA, D. G. Secagem da casca e polpa da banana verde (*Musa acuminata*): propriedades físicas e funcionais da farinha. **Global Science and Technology**, v. 9, n. 3, p. 62-72, 2016.

GONELI, A. L. D.; ARAÚJO, W. D.; HARTMANN FILHO, C. P.; MARTINS, E. A. S.; OBA, G. C. Drying kinetics of peanut kernels in thin layers. **Engenharia Agrícola**, v. 37, n. 5, p. 994-1003, 2017.

GONELI, A. L. D.; CORREA, P.; OLIVEIRA, G. H. H. DE; BOTELHO, F. M. Water desorption and thermodynamic properties of okra seeds. **Transactions of the American Society of Agricultural and Biological Engineers**, v. 53, n. 1, p. 191-197, 2010.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ (São Paulo). **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008. 1020p.

JOSHI, A.; RUDRA, S. G.; SAGAR, V. R.; RAIGOND, P.; DUTT, S.; SINGH, B.; SINGH, B. P. Development of low fat potato chips through microwave processing. **Journal of Food Science and Technology**, v. 53, n. 8, p. 3296-3303, 2016.

KHAN, M. I. H.; KUMAR, C.; JOARDDER, M. U. H.; KARIM, M. A. Determination of appropriate effective diffusivity for different food materials. **Drying Technology**, v. 35, n. 3, p. 335-346, 2017.

KUMAR, C.; KARIM, M. A.; JOARDDER, M. U. H. Intermittent drying of food products: A critical review. **Journal of Food Engineering**, v. 121, p. 48-57, 2014.

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, n. 2, p. 01-04, 2016.
- LOPES, J. G. Cinética de secagem de folhas de timbó (*Serjania marginata* Casar). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 3, p. 238-244, 2015.
- MADAMBA, P. S.; DRISCOLL, R. H.; BUCKLE, K. A. The thin-layer drying characteristics of garlic slices. **Journal of Food Engineering**, v. 29, n. 1, p. 75-97, 1996.
- MAHDI, A. A.; MOHAMMED, J. K.; AL-ANSI, W.; GHALEB, A. D. S.; AL-MAQTARI, Q. A.; MA, M.; AHMED, M. I.; WANG, H. Microencapsulation of fingered citron extract with gum arabic, modified starch, whey protein, and maltodextrin using spray drying. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 152, p. 1125-1134, 2020.
- MARTINS, J. J. A.; MARQUES, J. I.; SANTOS, D. C.; ROCHA, A. P. T. Modelagem matemática da secagem de cascas de mulungu. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 6, p. 1652-1660, 2014.
- MELO, J. C. S.; PEREIRA, E. D.; OLIVEIRA, K. P.; COSTA, C. H. C.; FEITOSA, R. M. Estudo da cinética de secagem da pimenta de cheiro em diferentes temperaturas. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 10, n. 2, p. 09-14, 2015.
- MELO, P. C.; DEVILLA, I. A.; LISBOA, C. F.; SANTOS, M. M.; DUARTE, P. H. T. Kinetics drying of *Spirulina platensis*. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 45, p. 4683-4691, 2016.
- MENDONÇA, A. P.; SAMPAIO, P. T. B.; ALMEIDA, F. A. C.; FERREIRA, R. F.; NOVAIS, J. M. Determinação das curvas de secagem das sementes de andiroba em secador solar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 4, p. 382-387, 2015.
- MENDONÇA, A. P.; SILVA, L. M. M.; SOUSA, F. C.; SILVA, J. R.; ROSA, J. C. Modelagem matemática das curvas de secagem de sementes de duas espécies de andiroba. **Revista Engenharia na Agricultura - REVENG**, v. 27, n. 4, p. 293-303, 2019.
- MENEZES FILHO, A. C. P.; SOUZA, J. C. P.; CASTRO, C. F. S. Avaliação dos parâmetros físico-químicos e tecnológicos da farinha produzida a partir dos resíduos da agroindústria de laranja e melancia. **Agrarian**, v. 12, n. 45, p. 399-410, 2019.
- OLAWOYE, B. T.; KADIRI, O.; BABALOLA, T. Modelling of thin-layer drying characteristic of unripe Cardaba banana (*Musa ABB*) slices. **Cogent Food & Agriculture**, v. 3, n. 1, p. 2-12, 2017.

- OLIVEIRA, D. E. C.; RESENDE, O.; CHAVES, T. H.; SOUZA, K. A.; SMANIOTTO, T. A. S. Propriedades termodinâmicas de sementes de tucumã-de-goias (*Astrocaryum huaimi* Mart.). **Revista Caatinga**, v. 27, n. 3, p. 53-62, 2014.
- OLIVEIRA, G. H. H.; CORRÊA, P. C.; ARAÚJO, E. F.; VALENTE, D. S. M.; BOTELHO, F. M. Desorption isotherms and thermodynamic properties of sweet corn cultivars (*Zea mays* L.). **International Journal of Food Science & Technology**, v. 45, n. 3, p. 546-554, 2010.
- REIS, R. C.; BARBOSA, L. S.; LIMA, M. L.; REIS, J. S.; DEVILLA, I. A.; ASCHERI, D. P. R. Modelagem matemática da secagem da pimenta cumari do Pará. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 4, p. 347-353, 2011.
- RESENDE, O.; OLIVEIRA, D. E. C.; COSTA, L. M.; FERREIRA JUNIOR, W. N. Drying kinetics of baru fruits (*Dipteryx alata* Vogel). **Engenharia Agrícola**, v. 38, n. 1, p. 103-109, 2018.
- REZENDE, Y. R. R. S.; NOGUEIRA, J. P.; NARAIN, N. Microencapsulation of extracts of bioactive compounds obtained from acerola (*Malpighia emarginata* DC) pulp and residue by spray and freeze drying: chemical, morphological and chemometric characterization. **Food Chemistry**, v. 254, p. 281-291, 2018.
- RIBEIRO, V. H. A.; ALMEIDA, R. L. J.; SANTOS, N. C.; BARROS S. L.; NASCIMENTO, A. P. S. Mathematical modeling of apple drying kinetics. **Higiene Alimentar**, v. 33, n. 288/289, p. 3474-3478, 2019.
- RODOVALHO, R. S.; SILVA, H. W.; SILVA, I. L.; ROSSETTO, C. A. V. Cinética de secagem dos grãos de pimenta bode. **Global Science and Technology**, v. 8, n. 2, p. 128-142, 2015.
- ROSA, J. C.; MENDONÇA, A. P.; OLIVEIRA, A. S.; RIBEIRO, S. B.; BATISTA, A. R.; ARAÚJO, M. E. R. Drying kinetics of 'babassu' mesocarp. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 10, p. 709- 714, 2017.
- SANTOS, D. C.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; OLIVEIRA, E. N. A. Difusividade efetiva e energia de ativação em farinhas de grãos residuais de urucum. **Comunicata Scientiae**, v. 5, n. 1, p. 75- 82, 2014.
- SANTOS, N. C.; SILVA, W. P.; BARROS, S. L.; ARAÚJO, A. J. B.; GOMES, J. P.; ALMEIDA, R. L. J.; NASCIMENTO, A. P. S.; ALMEIDA, R. D.; SILVA, C. M. P. D. S.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. Study on Drying of Black Rice (*Oryza sativa* L.) Grains: Physical-Chemical and Bioactive Quality. **Journal of Agricultural Science**, v. 11, n. 9, p. 203-212, 2019.

- SÃO JOSÉ, A. R.; PIRES, M. M.; FREITAS, A. L. G. E.; RIBEIRO, D. P.; PREREZ, L. A. A. Atualidades e perspectivas das Anonáceas no mundo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 36, n. especial, p. 86-93, 2014.
- SILVA, C. E. F.; SILVA, I. C. C.; GOIS, G. N. S. B.; ALMEIDA, R. M. R. G.; ABUD, A. K. S. Avaliação das condições de pré-tratamento e hidrólise enzimática do resíduo do processamento de graviola visando a obtenção de etanol. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Química-COBEQ, 20., Florianópolis/SC. **Anais...** São Paulo: Blucher, 2015, p. 1131-1138.
- SILVA, F. P.; SIQUEIRA, V. C.; MARTINS, E. A. S.; MIRANDA, F. M. N.; MELO, R. M. Thermodynamic properties and drying kinetics of *Bauhinia forficata* link leaves. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 1, p. 61-67, 2017b.
- SILVA, F. P.; SIQUEIRA, V. C.; QUINZANI, G. A.; MARTINS, E. A. S.; GONELI, A. L. D. Drying kinetics of niger seeds. **Engenharia Agrícola**, v. 37, n. 4, p.727-738, 2017a.
- SILVA, I. L.; SILVA, H. W. D.; DE CAMARGO, F. R.; DE FARIAS, H. F.; FREITAS, E. D. F. Secagem e difusividade de sementes de melão. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 41, n. 2, p. 21-30, 2018.
- SILVA, P. A.; CUNHA, R. L.; LOPES, A. S.; PENA, R. S. Caracterização de farinhas de tapioca produzidas no estado do Pará. **Revista Ciência Rural**, v. 43, n. 1, p. 185-191, 2013.
- SILVA, S. M. **Determinação de macrocomponentes na ata (*Annona squamosa* L.) e graviola (*Annona muricata* L.) comercializadas em feiras e supermercados de São Luís - MA.** 49 f. 2015. Trabalho de conclusão de curso (Licenciatura em Química). Universidade Federal do Maranhão, São Luís – MA. 2015.
- SILVA, V. M. A.; RIBEIRO, V. H. A.; SANTOS, N. C.; BARROS, S. L.; NASCIMENTO, A. P. S.; ARAÚJO, A. J. B. Determinação de modelo matemático na secagem do sorgo (*sorghum bicolor* (L.) moench). **Caderno de Ciência, Pesquisa e Inovação**, v. 2, n. 1, p. 112-120, 2019.
- SILVA, W. P.; PRECKER, J. W.; SILVA, C. M. D. P. S.; GOMES, J. P. Determination of effective diffusivity and convective mass transfer coefficient for cylindrical solids via analytical solution and inverse method: application to the drying of rough rice. **Journal of Food Engineering**, v. 98, n. 3, p. 302-308, 2010.
- SILVA, W. P.; SILVA, C. M. D. P. S. **“Convective” software** (2009), online, Disponível em: <<http://zeus.df.ufcg.edu.br/labfit/Convective.htm>>. Acesso em: 15 jul 2020.

SIQUEIRA, V. C.; RESENDE, O.; CHAVES, T. H. Determination of the volumetric shrinkage in jatropha seeds during drying. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 34, n. 3, p. 231-238, 2012a.

SIQUEIRA, V. C.; RESENDE, O.; CHAVES, T. H. Difusividade efetiva de grãos e frutos de pinhão manso. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, suplemento 1, p. 2919-2930, 2012b.

SMANIOTTO, T. A. S.; RESENDE, O.; OLIVEIRA, D. E. C.; SOUSA, K. A.; CAMPOS, R. C. Isotermas e calor latente de dessecção dos grãos de milho da cultivar AG 7088. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 11, n. 3, p. 312-322, 2012.

SMANIOTTO, T. A. S.; RESENDE, O.; SOUSA, K. A.; OLIVEIRA, D. E. C.; CAMPOS, R. C. Drying kinetics of sunflower grains. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 3, p. 203-208, 2017.

SOUSA, A. D.; RIBEIRO, P. R. V.; CANUTO, K. M.; ZOCCOLO, G. J.; PEREIRA, R. C. A.; FERNANDES, F. A. N.; BRITO, E. S. Drying kinetics and effect of air-drying temperature on chemical composition of *Phyllanthus amarus* and *Phyllanthus niruri*. **Drying Technology**, v. 36, n. 5, p. 609-616, 2018.

STRUMILLO, C.; KUDRA, T. **Drying: principles, applications, and design**. Montreux: Gordon and Breach Science Publishers, 1986.

### ARTIGO 3 - CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E COMPORTAMENTO HIGROSCÓPICO DAS FARINHAS DAS SEMENTES DE ATA E GRAVIOLA

**Resumo:** A família *Annonaceae* engloba um grupo de plantas de grande importância econômica para a fruticultura brasileira. No seu processamento, cascas e sementes são desprezadas. Esses resíduos descartados contêm princípios nutricionais importantes, conferindo valor alimentar e econômico a materiais que normalmente são destinados a aterros. Uma etapa necessária do estudo para aproveitamento desses materiais é a determinação do seu comportamento higroscópico, importante no processo de conservação e armazenamento, influenciando diretamente na qualidade final do produto. Diante disso, objetivou-se caracterizar fisicamente as sementes de ata e graviola e estudar o comportamento higroscópico de farinhas obtidas de sementes de ata e graviola secadas em temperaturas de 50, 60 e 70 °C. As isotermas de adsorção de água foram determinadas utilizando-se Aqualab, pelo método estático indireto, na temperatura de 25 °C. Foram ajustados os modelos de Caurie, Iglesias, Oswin, Smith, GAB e Peleg. As sementes de graviola apresentaram maior massa e maiores circularidade e esfericidade; as sementes de ata apresentaram maiores massas específicas real e aparente. A maioria das isotermas foram classificadas como do tipo II e, dentre os modelos ajustados, o modelo de GAB apresentou o melhor parâmetro de ajuste.

**Palavras-chave:** *Annona squamosa* L., *Annona muricata* L., resíduos agrícolas, sustentabilidade, isotermas.

**Abstract:** The *Annonaceae* family comprises a group of plants of great economic importance for Brazilian fruit growing. In their processing, husks and seeds are neglected. These discarded residues contain important nutritional principles, giving food and economic value to materials that are normally destined for landfills. A necessary stage of the study for the use of these materials is the determination of their hygroscopic behavior, important in the process of conservation and storage, directly influencing the final quality of the product. Therefore, the objective was to physically characterize the seeds of ata and soursop and to study the hygroscopic behavior of flours obtained from seeds of ata and soursop dried at temperatures of 50, 60 and 70 °C. The water adsorption isotherms were determined using Aqualab, by the indirect static method, at a temperature of 25 °C. The models of Caurie, Iglesias, Oswin, Smith, GAB and Peleg were adjusted. Soursop seeds showed greater mass and greater circularity and sphericity; the minute seeds showed higher specific and real masses. Most of the isotherms were classified as type II and, among the adjusted models, those of Oswin, GAB and Peleg presented the best adjustment parameters.

**Keywords:** *Annona squamosa* L., *Annona muricata* L., agricultural waste, sustainability, isotherms.

#### 1 - Introdução

A ateira (*Annona squamosa* L.) é uma planta arbórea da família *Annonaceae*, cujos frutos, dependendo da região são conhecidos como ata, pinha ou fruta-do-conde, é originária das terras baixas da América Central. O fruto possui formato arredondado, possuindo em

média 50 a 70 carpelos que originam as sementes. Considerada uma fruteira promissora, adaptada ao clima tropical, produz durante todos os meses do ano (CASTRO et al., 2016).

A gravioleira (*Annona muricata* L.), igualmente da família *Annonaceae* e originada na América Central é uma árvore de tronco ereto que pode chegar a 8 metros de altura, com frutos do tipo baga. Há relato de frutos contendo até 490 sementes (CAVALCANTE et al., 2018).

O processamento de frutas gera grande quantidade de resíduos ao longo de toda cadeia produtiva, que vai desde a colheita até a comercialização final, representando, além de encargos extras, um problema logístico e ambiental. Visando minimizar os custos da produção e os impactos ambientais causados pelo descarte inadequado dos resíduos agroindustriais, a indústria agroalimentar busca novas alternativas para o reaproveitamento (SANTOS et al., 2020).

A primeira providência a ser tomada para o aproveitamento racional dos resíduos é a aplicação de técnicas de conservação, como a secagem, a fim de evitar deteriorações e torná-los aptos a suportar tempos entre etapas posteriores de processamento, transporte e estocagem. Todavia, a higroscopicidade, típica de produtos agrícolas secos, tenderá a fazer com que o teor de água retorne a níveis críticos, sendo a forma como isso ocorre função da morfologia e da composição de cada material. Tendo em vista a grande variabilidade inerente a materiais biológicos, faz-se necessário determinar a curva de comportamento higroscópico de cada espécie e variedade, a fim de ter meios de controlar as condições ambientais a que tais matérias-primas são expostas. Nesse contexto, as isotermas de sorção de água provêm as informações necessárias para determinar as melhores condições de processamento e armazenamento do produto (MAFRA et al., 2020).

A determinação das isotermas de sorção é de grande interesse na indústria de alimentos, pois fornece dados sobre a estabilidade do produto (CORRÊA et al., 2017). O conhecimento das isotermas permite prever melhores condições de conservação, desenvolver embalagens adequadas, conhecer o teor de água de equilíbrio e as características físicas e físico-químicas dos produtos (SOLEIMANIFARD e HAMDAMI, 2018; SHANKER et al., 2019).

A utilização das sementes na forma de farinha confere grande versatilidade ao material, permitindo seu consumo sem misturas ou na composição de produtos diversos, principalmente em combinações com farinhas de trigo para elaboração de produtos de panificação, incorporando novos sabores e princípios nutricionais a produtos novos e com valor agregado mais elevado. Surge como alternativa de matéria-prima para utilização em

novos produtos, fornecendo um aumento do valor nutricional e promoção da redução de custos na indústria de alimentos. Dessa forma, o trabalho teve como objetivo caracterizar fisicamente as sementes de ata e graviola e determinar o comportamento higroscópico das farinhas produzidas após secagem das sementes em três temperaturas.

## 2 - Material e métodos

### 2.1 - Matérias-primas

As sementes de ata (*Annona squamosa* L.) e graviola (*Annona muricata* L.) foram obtidas do descarte de indústrias de polpas de frutas no município de Campina Grande, PB.

### 2.2 - Processamento das matérias-primas

As sementes foram lavadas em água corrente, sanitizadas em solução com hipoclorito de sódio (100 ppm) por 15 min. Em seguida, foram lavadas, novamente, em água corrente e colocadas em bandejas de aço inoxidável a fim de eliminar a água residual, sendo em seguida acondicionadas em embalagens plásticas e armazenadas em temperatura de -18 °C, até a utilização nos ensaios experimentais.

### 2.3 - Propriedades físicas das sementes in natura

A massa média das sementes in natura foi determinada pesando-se unitariamente a massa de cem sementes em balança analítica.

Para a determinação da massa específica real (Equação 1) das sementes in natura utilizou-se o método do deslocamento de massa por pesagens (MOHSENIN, 1978), em que se obtém a massa de água deslocada ao se imergir uma semente em um becker contendo água destilada, colocada sobre uma balança analítica. As determinações foram feitas com 10 sementes para cada repetição.

$$\rho_r = \frac{m}{v} \quad (1)$$

em que:

$\rho_r$  - massa específica real (g/cm<sup>3</sup>);

$m$  - massa da semente (g); e

$v$  - volume (cm<sup>3</sup>).

A massa específica aparente ( $\text{g/cm}^3$ ) foi determinada em béquer com capacidade de 250 mL, calculando-se a relação entre a massa das amostras.

A porosidade intergranular foi determinada pela relação entre a massa específica aparente e a massa específica real (Equação 2), de acordo com Takeuchi et al. (2005).

$$\epsilon = \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_r}\right) \times 100 \quad (2)$$

em que:

$\epsilon$  – porosidade da massa granular (%);

$\rho_a$  - massa específica aparente ( $\text{g/cm}^3$ );

$\rho_r$  - massa específica real ( $\text{g/cm}^3$ ).

As dimensões das sementes foram medidas utilizando paquímetro digital com precisão de 0,01 mm. As medições do comprimento, largura e espessura foram realizadas em uma amostra de 100 sementes.

As propriedades dimensionais das sementes foram calculadas usando as Equações 3, 4 e 5, conforme Baryeh (2001), Koocheki et al. (2007) e Mansouri et al. (2017), respectivamente:

$$D_g = \sqrt[3]{c \cdot l \cdot e} \quad (3)$$

em que:

$D_g$  – diâmetro médio geométrico;

$c$  - comprimento

$l$  – largura;

$e$  – espessura.

$$D_a = \frac{c \cdot l \cdot e}{3} \quad (4)$$

em que:

$D_a$  – diâmetro médio aritmético;

$c$  - comprimento

$l$  – largura;

$e$  – espessura.

$$A_s = \pi \cdot (D_g)^2 \quad (5)$$

em que:

$A_s$  – diâmetro médio aritmético;  
 $D_g$  - diâmetro médio geométrico.

As proporções de razão de forma ( $R_f$ ) e razão de alongamento ( $R_a$ ) foram calculadas de acordo com as Equações 6 e 7, conforme Mora e Kwan (2000):

$$R_f = \frac{e}{l} \quad (6)$$

em que:

$R_f$  – razão de forma;  
 $e$  – espessura do grão;  
 $l$  – largura do grão.

$$R_a = \frac{c}{l} \quad (7)$$

em que:

$R_a$  – razão de alongamento;  
 $e$  – comprimento do grão;  
 $l$  – largura do grão.

Para determinar a circularidade e esfericidade foram utilizadas 50 sementes, realizando-se a projeção das sementes em papel milimetrado na escala de 3:1, utilizando-se um retroprojektor. A medição da área da semente foi realizada na posição de repouso, consistindo na área do círculo que a circunscreve, possibilitando assim a determinação da circularidade, de acordo com a Equação 8.

$$C_r = \frac{A_p}{A_c} \times 100 \quad (8)$$

em que:

$C_r$  - circularidade (%);  
 $A_p$  - área projetada da semente na posição de repouso ( $\text{cm}^2$ );  
 $A_c$  - área do menor círculo que circunscreve a projeção da semente na posição de repouso ( $\text{cm}^2$ ).

Da mesma forma, a projeção da posição de repouso das sementes foi utilizada para determinar a esfericidade, sendo medido o diâmetro do maior círculo inscrito e o diâmetro do menor círculo circunscrito na projeção, com paquímetro digital, obtendo-se a razão entre eles, de acordo com a Equação 9.

$$E_s = \frac{d_i}{d_c} \times 100 \quad (9)$$

em que:

$E_s$  – esfericidade (%);

$d_i$  - diâmetro do maior círculo inscrito na projeção da semente na posição de repouso ( $\text{cm}^2$ );

$d_c$  - diâmetro do menor círculo circunscrito na projeção da semente na posição de repouso ( $\text{cm}^2$ ).

## 2.4 - Obtenção das farinhas

As sementes de ata e graviola foram colocadas em bandejas teladas e submetidas a secagens em secador de leito fixo, nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C, com velocidade do ar de 1,5 m/s. Em seguida, o material seco foi triturado em moinho de facas e transformado em farinha de sementes de ata (FSA) e farinha de sementes de graviola (FSG).

## 2.5 - Análise estatística

As análises foram conduzidas utilizando-se 3 repetições. Os dados experimentais obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) pelo teste F e as diferenças significativas entre as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância, com o auxílio do *software Assistat* versão 7.7 beta (SILVA; AZEVEDO, 2016).

## 2.6 - Isotermas de adsorção de água

As isotermas de adsorção de água foram determinadas a 25 °C nas farinhas das sementes de ata e graviola secadas a 50, 60 e 70 °C de acordo com a metodologia proposta por Capriste e Rotstein (1982), utilizando higrômetro Aqualab (Decagon Devices®) para determinar a atividade de água. Os modelos de Caurie, Iglesias, Oswin, Smith, GAB e Peleg

(Tabela 1) foram ajustados aos dados de adsorção de água utilizando-se regressão não linear, pelo método Quase-Newton por meio do programa computacional Statistica 7.7.

**Tabela 1** - Modelos de ajuste de isotermas de sorção de água

Modelo	Equação
Caurie	$X_{eq} = \exp. (a + (b. a_w))$
Iglesias	$X_{eq} = a + (b. \left(\frac{a_w}{(1 - a_w)}\right))$
Oswin	$X_{eq} = a \left(\frac{a_w}{(1 - a_w)}\right)^b$
Smith	$X_{eq} = M_b - M_a. (\exp (1 - a_w))^{-1}$
GAB	$X_{eq} = \frac{X_m. C. K. a_w}{(1 - Ka_w)(1 - Ka_w + CKa_w)}$
Peleg	$X_{eq} = k_1. a_w^{n_1} + k_2 a_w^{n_2}$

Onde:  $X_{eq}$  - teor de água de equilíbrio;  $a_w$  - atividade de água;  $X_m$  - teor de água na monocamada molecular; C e K - parâmetros que dependem da temperatura e natureza do produto;  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $n_1$ ,  $n_2$ , a e b - constantes da equação.

Os critérios usados para determinação do melhor ajuste dos modelos s foram o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e o desvio percentual médio (P), calculado conforme a Equação 10.

$$P = \frac{100}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{|(X_{exp} - X_{pre})|}{X_{exp}} \quad (10)$$

Em que:

P - desvio percentual médio (%);

$X_{exp}$  - valores obtidos experimentalmente;

$X_{pre}$  - valores preditos pelo modelo;

n - número de dados experimentais.

### 3 - Resultados e discussão

#### 3.1 - Propriedades físicas das sementes in natura

Na Tabela 2 são apresentados os dados das características físicas das sementes de ata e graviola in natura.

A massa média das sementes de graviola superou em cerca de 34% a das sementes de ata, mas foi superada por esta em massa específica real, porém numa proporção menor, de aproximadamente 4%. Também o valor da massa específica aparente da ata superou o da graviola, neste caso em uma proporção ainda maior.

**Tabela 2** - Caracterização física das sementes in natura de ata e graviola

Parâmetro	Média e desvio padrão	
	Ata	Graviola
Massa (g)	0,38 ± 0,06 <sup>b</sup>	0,51 ± 0,08 <sup>a</sup>
Massa específica real (g/cm <sup>3</sup> )	1,03 ± 0,10 <sup>a</sup>	0,99 ± 0,11 <sup>b</sup>
Massa específica aparente (g/cm <sup>3</sup> )	0,57±0,005 <sup>a</sup>	0,53±0,004 <sup>b</sup>
Comprimento (mm)	14,45 ± 2,94 <sup>b</sup>	16,79 ± 1,51 <sup>a</sup>
Largura (mm)	7,62 ± 0,57 <sup>b</sup>	10,01 ± 0,90 <sup>a</sup>
Espessura (mm)	6,13 ± 0,60 <sup>a</sup>	5,18 ± 0,64 <sup>b</sup>
Porosidade (%)	44,66± 0,01 <sup>b</sup>	46,4 ± 0,03 <sup>a</sup>
Diâmetro médio geométrico (mm)	8,73 ± 0,59 <sup>b</sup>	9,48 ± 0,58 <sup>a</sup>
Proporção de razão de forma	0,81 ± 0,08 <sup>a</sup>	0,53 ± 0,10 <sup>b</sup>
Proporção de razão de alongamento	1,91 ± 0,40 <sup>a</sup>	1,71 ± 0,23 <sup>b</sup>
Circularidade (%)	58,16 ± 5,96 <sup>b</sup>	62,84 ± 6,58 <sup>a</sup>
Esfericidade (%)	59,92 ± 6,48 <sup>b</sup>	63,30 ± 5,33 <sup>a</sup>

Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Resultados comparáveis a esses também podem ser verificados em sementes de melão que variaram de 0,43 a 0,52g (MANSOURI et al., 2017). Os maiores valores de massa das sementes de graviola se devem às maiores dimensões principais, superando o comprimento da semente de ata em 16% e a largura em 31%, sendo superada apenas na espessura (18%). Valores inferiores foram observados por Araújo et al. (2015), que ao verificarem as propriedades físicas de amendoim, constaram valores variando de 14,03 a 13,46 mm.

As porosidades, dadas pela relação entre massas específicas e reais, são aproximados, com valores ligeiramente maiores nas sementes de graviola. Verifica-se que as sementes de ata apresentam menor diâmetro médio geométrico quando comparadas às sementes de graviola). Resultados inferiores (3,85 mm) podem ser constatados por Silva (2019) em estudo com sementes de Melão Neve.

As proporções de razão de forma e de alongamento indicam as sementes de ata mais abauladas e as de graviola mais achatadas, as de ata mais alongadas e as de graviola mais encurtadas. Araujo et al. (2015) ao avaliarem as propriedades físicas de amendoim, verificaram uma redução na razão de forma e alongamento ao diminuir os teores de água nas sementes.

Os valores de circularidade e esfericidade das sementes de graviola superaram os valores determinados nas sementes de ata. Araujo et al. (2015) verificaram uma pequena redução na magnitude dos valores de circularidade e esfericidade com a redução do teor de água devido a secagem dos frutos de amendoim. Goneli et al. (2011), trabalhando com frutos de mamona, também observaram resultados semelhantes, nos quais a circularidade e a esfericidade apresentaram pequenas variações em seus valores.

### **3.2 - Isotermas de adsorção de água**

Estão apresentados na Tabela 3 os parâmetros dos modelos matemáticos de Caurie, Iglesias, Oswin, Smith, GAB e Peleg ajustados aos dados das isotermas de adsorção de água na temperatura de 25 °C da farinha das sementes de ata secadas em temperaturas de 50 a 70 °C.

**Tabela 3** - Parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios percentuais médios (P) das isotermas de adsorção de água das farinhas das sementes de ata a 25 °C

Modelos	Temp. (°C)	Parâmetros				$R^2$	P (%)
		a	b				
Caurie	50	-0,6754	3,9209		0,9733	6,67	
	60	-0,5122	3,7239		0,9627	6,67	
	70	-0,3951	3,5328		0,9830	6,78	
Iglesias	Temp. (°C)	a	b		$R^2$	P (%)	
	50	3,8718	1,3731		0,9060	7,18	
	60	4,3299	1,2647		0,9017	6,97	
	70	4,3115	1,1358		0,8640	6,15	
Oswin	Temp. (°C)	a	b		$R^2$	P (%)	
	50	4,9044	0,5615		0,9894	3,86	
	60	5,1782	0,5284		0,9914	2,85	
	70	5,1431	0,5025		0,9870	5,87	
Smith	Temp. (°C)	$M_b$	$M_a$		$R^2$	P (%)	
	50	-16,3626	-35,2892		0,8775	7,04	
	60	-14,8057	-33,4270		0,8626	7,30	
	70	-14,2206	-32,0633		0,9025	7,94	
GAB	Temp. (°C)	$X_m$	C	K	$R^2$	P (%)	
	50	3,2488	3,5125	0,9144	0,9941	3,72	
	60	2,9148	12,1689	0,9234	0,9963	3,63	
	70	3,7191	2,9763	0,8778	0,9984	3,66	
Peleg	Temp. (°C)	$n_1$	$k_1$	$n_2$	$k_2$	$R^2$	P (%)
	50	13,2149	1,5117	22,0495	12,3747	0,9962	4,76
	60	22,7513	8,7742	8,9836	0,8308	0,9976	2,94
	70	17,2663	7,6267	9,5276	1,0480	0,9966	3,85

A maioria dos modelos matemáticos apresentaram elevados valores de  $R^2$ , superiores a 0,90. Entretanto, para melhor interpretação dos resultados foi analisado também os valores de P, visto que o uso do  $R^2$  como único critério de avaliação e seleção de modelos matemáticos não constitui um bom parâmetro para representação do fenômeno. Autores citam que o desvio percentual médio, para um bom ajuste, deve ter valor menor que 10% (OLIVEIRA et al., 2014; ROCHA et al., 2014).

Dentre os modelos investigados, os de Oswin, GAB e Peleg revelaram valores de P abaixo de 6% nas três temperaturas estudadas, mostrando-se satisfatórios para representar as isotermas de adsorção de água das farinhas de sementes de ata a 25 °C. Dentre estes, os modelos de GAB, apresentaram os maiores valores de coeficientes de determinação ( $R^2$ ) nas amostras estudadas.

Zeymer et al. (2017) estudaram as isotermas de sementes de alface (*Lactuca sativa*) nas temperaturas de 10, 20, 30, 40 e 50 °C, ajustando os modelos de Chung-Pfost, Copace,

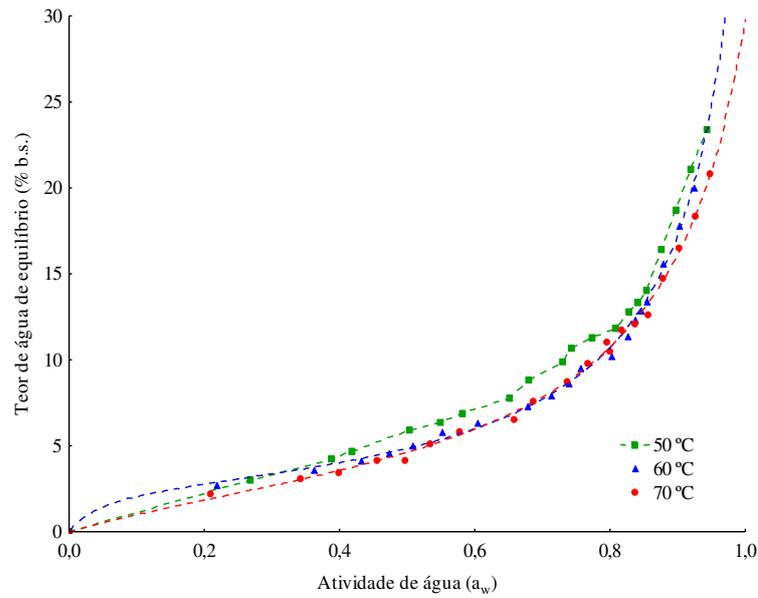
Henderson, Henderson modificado, Hasley modificado e Oswin modificado as isotermas, verificando que o modelo que melhor representou as isotermas foi o de Oswin modificado e a forma das isotermas foi sigmoidal, característica de uma curva de Tipo II.

Arslan-Tontul (2020), avaliando as isotermas de sorção de água de sementes inteiras de chia, detectou que as amostras se tornaram menos higroscópicas com o aumento da temperatura de sorção para uma  $a_w$  constante. O teor de água na monocamada molecular ( $X_m$ ) encontrado foi de 2,39% e os melhores modelos ajustados foram BET e Peleg.

Os valores do teor de água na monocamada molecular ( $X_m$ ) do modelo de GAB apresentou redução entre a temperatura de 50 e 60 °C. O parâmetro C do modelo de GAB, que representa o calor total de sorção da primeira camada e tem significado físico relacionado ao efeito da temperatura (ROCHA et al., 2014), não apresenta uma tendência definida com o incremento da temperatura de secagem, enquanto a constante K aumentou entre 50 e 60 °C.

As isotermas de adsorção das farinhas das sementes de ata a 25 °C, das secagens a 50 e 60 °C podem ser classificadas como do tipo II, de acordo com Blahovec (2004), que especifica esse comportamento conforme os parâmetros de GAB apresentem valores  $0 < K \leq 1$  e  $C > 2$  e a amostra da secagem a 70 °C como tipo III ( $0 < K \leq 1$  e  $0 \leq C \leq 2$ ).

Na Figura 1 tem-se a representação gráfica das isotermas de adsorção de água na temperatura de 25 °C, das sementes de ata desidratadas nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C, com ajuste pelo modelo de GAB. Os dados apresentaram um aumento lento no  $X_{eq}$  na faixa de  $a_w$  baixa, seguido de um aumento acentuado em valores de  $a_w$  superiores a 0,7, representando ganhos de água moderados na faixa de  $a_w$  mais baixas, em que grandes oscilações destas acarretaram pouca variação na  $X_{eq}$ . Apesar das isotermas fornecerem como informação precípua as características de deterioração de origem microbiana, a fluidez reduzida (ou aglomeração) e as propriedades de dissolução igualmente constituem fatores de qualidade que podem ser inferidos a partir das isotermas (SHITTU et al., 2015).



**Figura 1** - Isotermas de adsorção de água a 25 °C das farinhas das sementes de ata secadas a 50, 60 e 70° C, com ajustes pelo modelo de GAB

Na Tabela 4 são apresentados os parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios percentuais médios (P) dos modelos ajustados aos dados de adsorção de água a 25 °C das farinhas das sementes de graviola, desidratadas nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C

Todos os modelos testados se ajustaram bem aos dados experimentais. Os modelos de GAB, Oswin e Peleg foram os que melhor descrevem as isotermas, com maiores coeficientes de determinação e menores desvios percentuais médios, para todas as três temperaturas de secagem das amostras, com destaque para o modelo de GAB.

Kartika et al. (2012) ao estudarem as isotermas de adsorção de água de sementes de pinhão-bravo (nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C) verificaram que os modelos de GAB, Oswin e Henderson foram os mais adequados para descrever o comportamento higroscópico das amostras.

**Tabela 4** - Parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios percentuais médios (P) das isotermas de adsorção das farinhas das sementes de graviola a 25 °C

Modelos	Temperatura (°C)	Parâmetros				$R^2$	P (%)
		a	b				
<b>Caurie</b>	50 °C	0,4513	2,8930			0,9371	6,44
	60 °C	0,4240	2,7945			0,9529	8,02
	70 °C	0,4160	2,5689			0,9617	6,64
	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>a</b>	<b>b</b>			<b><math>R^2</math></b>	<b>P (%)</b>
<b>Iglesias</b>	50 °C	7,1307	1,4137			0,8741	6,39
	60 °C	7,0263	1,1015			0,8219	7,41
	70 °C	5,4988	1,0779			0,8404	6,57
	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>a</b>	<b>b</b>			<b><math>R^2</math></b>	<b>P (%)</b>
<b>Oswin</b>	50 °C	8,0297	0,4361			0,9932	4,68
	60 °C	7,5037	0,4073			0,9930	2,77
	70 °C	5,9547	0,4569			0,9947	3,73
	<b>Temperatura (°C)</b>	<b><math>M_b</math></b>	<b><math>M_a</math></b>			<b><math>R^2</math></b>	<b>P (%)</b>
<b>Smith</b>	50 °C	-14,6969	-38,0182			0,8714	6,55
	60 °C	-13,4278	-34,4132			0,8967	6,53
	70 °C	-13,3444	-31,7578			0,9002	7,21
	<b>Temperatura (°C)</b>	<b><math>X_m</math></b>	<b>C</b>	<b>K</b>		<b><math>R^2</math></b>	<b>P (%)</b>
<b>GAB</b>	50 °C	4,1724	2001286	0,8959		0,9960	4,36
	60 °C	3,9360	355573,3	0,8810		0,9973	2,79
	70 °C	3,2778	17,18523	0,8968		0,9971	3,04
	<b>Temperatura (°C)</b>	<b><math>n_1</math></b>	<b><math>k_1</math></b>	<b><math>n_2</math></b>	<b><math>k_2</math></b>	<b><math>R^2</math></b>	<b>P (%)</b>
<b>Peleg</b>	50 °C	10,0776	0,9001	18,0785	10,0001	0,9902	5,60
	60 °C	10,1935	0,9001	18,1936	10,0000	0,9806	4,67
	70 °C	11,4869	0,9775	18,6336	10,0790	0,9989	3,69

Os parâmetros encontrados para o modelo de Oswin, com  $a > 0$  e  $0 < b \leq 1$ , indicam que as curvas representando as isotermas não têm ponto de inflexão e alterações da concavidade, representando parâmetros física e matematicamente consistentes (BLAHOVEC, 2004; ROCHA et al., 2014).

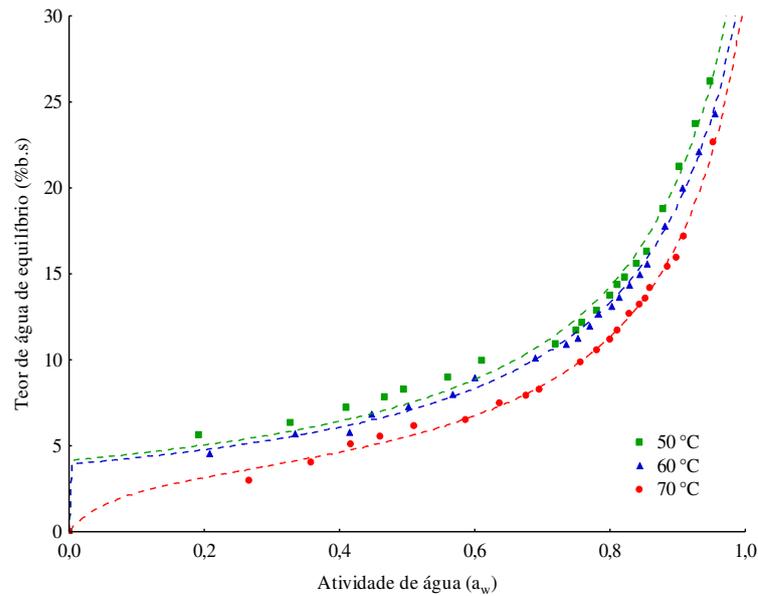
Foram observados decréscimos nos valores do teor de água na monocamada molecular ( $X_m$ ) do modelo de GAB com o aumento da temperatura de secagem para as farinhas das sementes de graviola, com redução de 21,44% entre as amostras obtidas nas temperaturas de 50 e 70 °C. O teor de água na monocamada molecular ( $X_m$ ) é a camada primária do alimento e seu teor de água interfere na higroscopicidade ou afinidade das moléculas com a água (RIBEIRO et al., 2016). Yogendrarajah et al. (2015) citaram que o valor de  $X_m$  é um parâmetro crítico, que representa o teor de água na qual a taxa de qualquer reação associada será desprezível em razão da forte ligação da água à matriz sólida, indicando o teor de água ótimo para o armazenamento seguro.

Os valores do parâmetro C do modelo de GAB não seguiram tendência definida com o aumento da temperatura. De acordo com Velázquez-Gutiérrez et al. (2015) alguns valores de C podem não ter significado físico, resultando da simulação matemática necessária para descrever o comportamento da amostra. O parâmetro C está relacionado ao calor de adsorção da água sobre o produto (VELÁZQUEZ-GUTIÉRREZ et al., 2015).

Dos parâmetros C e K do modelo GAB, tem-se que as isotermas de adsorção de água para as farinhas das sementes de graviola são do Tipo II (forma sigmoide), segundo a classificação de Blahovec (2004), e apresentando  $0 < K \leq 1$  e  $C > 2$ . Chisté et al. (2015) também classificaram como isotermas do Tipo II farinhas de mandioca do grupo seca e do grupo d'água a 25 °C. Prette et al. (2013) verificaram para as isotermas de dessorção de água das sementes de jaca a 40, 50, 60 e 70 °C, forma sigmoide, sugerindo que são típicas de produtos com baixo teor de água.

De acordo com Chisté et al. (2015), considerando que as moléculas de água estão fortemente ligadas aos biopolímeros hidrofílicos, como proteínas e polissacarídeos, o número de sítios que se ligam fortemente às moléculas de água deve ser menor no substrato rico em proteínas do que no substrato rico em carboidratos, resultando em que produtos amiláceos apresentam geralmente isotermas do Tipo II.

Na Figura 2 tem-se as isotermas de adsorção de água das farinhas das sementes de graviola, na temperatura de 25 °C, com ajustes pelo modelo de GAB. Observa-se que a mudança notável na taxa de aumento do teor de água em relação à atividade de água se dá em uma região de atividade de água superior à observada nas farinhas de sementes de ata, ocorrendo em torno da  $a_w$  de 0,8. Considere-se, no entanto, que o teor de água seguro para o armazenamento corresponde a  $a_w \leq 0,60$  (YOGENDRARAJAH et al., 2015).



**Figura 2** - Isotermas de adsorção de água a 25 °C das farinhas das sementes de graviola com ajustes pelo modelo de GAB

#### 4 - Conclusões

As sementes de graviola têm maior massa do que as sementes de ata, bem como maiores circularidade e esfericidade, enquanto as sementes de ata apresentaram maiores massas real e específica.

As isotermas de adsorção de água a 25 °C das farinhas de sementes de ata e graviola se classificam como do tipo II,. As farinhas obtidas a partir de temperaturas de secagem mais elevadas apresentaram teores de água de equilíbrio mais baixos para atividades de água similares. Dentre os modelos testados, os de Oswin, GAB e Peleg propiciaram bons ajustes com melhor desempenho de forma geral o do modelo de GAB.

#### 5 - Referências bibliográficas

ARAUJO, W. D.; GONELI, A. L. D.; ORLANDO, R. C.; MARTINS, E. A. S.; HARTMANN FILHO, C. P. Propriedades físicas dos frutos de amendoim durante a secagem. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 4, p.170-180, 2015.

ARSLAN-TONTUL, S. Moisture sorption isotherm, isosteric heat and adsorption surface area of whole chia seeds. **LWT - Food Science and Technology**, v. 119, e. 108859, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108859>

- BARYEH, E.A. Physical properties of bambara groundnuts. *Journal of Food Engineering*, v. 47, n. 4, p. 321–326, 2001.
- BLAHOVEC, J. Sorption isotherms in materials of biological origin mathematical and physical approach. *Journal of Food Engineering*, v. 65, n. 4, p. 489-495, 2004.
- CAPRISTE, G. H.; ROTSTEIN, E. Prediction of sorptional equilibrium data for starch-containing foodstuffs. *Journal of Food Science*, v. 47, n. 5, p. 1501-1507, 1982.
- CASTRO, D. S.; NUNES, J. S.; SILVA, L. M. M.; SOUSA, F. C. S.; SILVA, W. P.; GOMES, J. P. Secagem de polpa de *Annona squamosa* L.: cinética e avaliação de modelos empíricos. *Magistra*, v. 28, n. 3/4, p. 294-300, 2016.
- CAVALCANTE, C. E. B.; RODRIGUES, S.; AFONSO, M. R. A.; COSTA, J. M. C. Avaliação dos parâmetros de secagem da polpa de graviola em pó obtida por secagem em spray dryer. *Brazilian Journal of Food Technology*, v. 20, e 2016015, p. 1-8, 2018.
- CHISTÉ, R. C.; CARDOSO, J. M.; SILVA, D. A.; PENA, R. S. Hygroscopic behaviour of cassava flour from dry and water groups. *Ciência Rural*, v. 45, n. 8, p. 1515-1521, 2015.
- CORRÊA, P. C.; BAPTESTINI, F. M.; VANEGAS, J. D. B.; LEITE, R.; BOTELHO, F. M.; OLIVEIRA, G. H. H. Kinetics of water sorption of damaged bean grains: Thermodynamic properties. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 21, n. 8, p. 556-561, 2017.
- GONELI, A. L. D.; CORRÊA, P. C.; MAGALHÃES, F. E. A.; BAPTESTINI, F. M. Contração volumétrica e forma dos frutos de mamona durante a secagem. *Acta Scientiarum Agronomy*, v. 33, n. 1, p. 01-08, 2011.
- KARTIKA, A.; YULIANE, S.; KAILAKU, S. I.; RIGAL, L. Moisture sorption behaviour of jatropha seed (*Jatropha curcas*) as a source of vegetable oil for biodiesel production. *Biomass and Bioenergy*, v. 36, n. 1, p. 226-233, 2012.
- KOOCHEKI, A., RAZAVI, S.M.A., MILANI, E., MOGHADAM, T.M., ABEDINI, M., ALAMATIYAN, S., IZADKHAH, S. Physical properties of watermelon seed as a function of moisture content and variety. *International Agrophys.* v. 21, n. 4, p.349-359, 2007.
- MAFRA, N. S. C.; VELEZ, H. A. V.; SALES, E. H.; FERREIRA, A. M.; SIROTTEAU, N. B. Drying studies, thermodynamic properties of water sorption of *Cocos nucifera* (L.) pulp. *Research, Society and Development*, v. 9, n. 8, e602985754, 2020.
- MANSOURI, A.; MIRZABE, A. H.; RÁUFI, A. Physical properties and mathematical modeling of melon (*Cucumis melo* L.) seeds and kernels. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. v. 16, n. 3, 218-226, 2017.

- MOHSENIN, N.N. Physical proprieties of plant and animal materials, New York: Gordon and Breach Science Publishers, v. 67, n. 4, p. 734, 1978.
- MORA, C. F; KWAN, Sphericity, shape factor, and convexity measurement of coarse aggregate for concrete using digital image processing, *Cement and Concrete Research*, v. 30, n. 3, p. 351-358, 2000.
- OLIVEIRA, D. M.; CLEMENTE, E.; COSTA, J. M. C. Hygroscopic behavior and degree of caking of grugru palm (*Acrocomia aculeata*) powder. **Journal of Food Science and Technology**, v. 51, n. 10, p. 2783-2789, 2014
- PRETTE, A. P.; ALMEIDA, F. A. C.; VILLA-VÉLEZ, H. A.; TELIS-ROMERO, J. Thermodynamic properties of water sorption of jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) as a function of moisture content. **Food Science and Technology**, v. 33, n. 1, p. 199-208, 2013.
- RIBEIRO, L. C.; COSTA, J. M. C.; AFONSO, M. R. A. Hygroscopic behavior of lyophilized acerola pulp powder. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 3, p. 269-274, 2016.
- ROCHA, E. M. F. F.; RODRIGUES, S.; AFONSO, M. R. A.; COSTA, J. M. C. Mathematical modeling for isotherms of mango pulp powder, obtained by atomization. **Journal of Encapsulation and Adsorption Science**, v. 4, n. 01, p. 8-14, 2014.
- SANTOS, N. C.; LEITE, D. D. F.; CÂMARA, G. B.; BARROS, S. L.; SANTOS, F. S.; SOARES, T. C.; LIMA, A. R. N.; SOARES, T. C.; ALBUQUERQUE, A. P.; OLIVEIRA, M. N.; VASCONCELOS, U. A. A.; QUEIROZ, A. J. M. Mathematical modeling of drying kinetics of grapefruit peels (*Citrus paradisi* Macf.). **Research, Society and Development**, v. 9, n. 1, e61911609, 2020.
- SHANKER, N.; KUMAR, M. M.; JUVVI, P.; DEBNATH, S. Moisture sorption characteristics of ready-to-eat snack food enriched with purslane leaves. **Journal of Food Science and Technology-Mysore**, v. 56, n. 4, p. 1918-1926, 2019.
- SHITTU, T. A.; IDOWU-ADEBAYO, F.; ADEDOKUN, I. I.; ALADE, O. Water vapor adsorption characteristics of starch-albumen poder and rheological behavior of its paste. **Nigerian Food Journal**, v. 33, n. 1, p. 90-96, 2015.
- SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. The Assisat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 39, p. 3733-3740, 2016.
- SILVA, R. C. **Farinhas de sementes de melão neve (*Cucumis melo* SP.) produzidas por secagem intermitente e contínua: propriedades físico-químicas e estabilidade durante**

- o armazenamento**, 2019, 120f, Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, PB, 2019.
- SOLEIMANIFARD, S.; HAMDAMI, N. Modelling of the sorption isotherms and determination of the isosteric heat of split pistachios, pistachio kernels and shells. **Czech Journal of Food Sciences**, v. 36, n. 3, p. 268-275, 2018.
- TAKEUCHI, K.P.; SABADINI, E.; CUNHA, R.L. Análise das propriedades mecânicas de cereais matinais com diferentes fontes de amido durante o processo de absorção de leite. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 1, p. 78-85, 2005.
- VELÁZQUEZ-GUTIÉRREZ, S. K.; FIGUEIRA, A. C.; RODRÍGUEZ-HUEZO, M. E.; ROMÁN-GUERRERO, A.; CARRILLO-NAVAS, H.; PÉREZ-ALONSO, C. Sorption isotherms, thermodynamic properties and glass transition temperature of mucilage extracted from chia seeds (*Salvia hispanica* L.). **Carbohydrate Polymers**, v. 121, p. 411–419, 2015.
- YOGENDRARAJAH, P.; SAMAPUNDO, S.; DEVLIEGHERE, F.; SAEGER, S.; MEULENAER, B. Moisture sorption isotherms and thermodynamic properties of whole black peppercorns (*Piper nigrum* L.). **LWT - Food Science and Technology**, v. 64, n. 1, p. 177-188, 2015.
- ZEYMER, J. S.; CORRÊA, P. C.; OLIVEIRA, G. H. H.; BAPTESTINI, F. M.; FREITAS, R. C. P. Isotermas de desorção de sementes *Lactuca sativa*. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21 n. 8, p. 1-9, 2017.

## ARTIGO 4 - POTENCIAL ANTIOXIDANTE, COMPOSTOS FENÓLICOS, COR E PERFIL DE MINERAIS EM FARINHA DE SEMENTE DE ATA E GRAVIOLA

**Resumo:** O processamento de ata (*Annona squamosa*) e graviola (*Annona muricata*) para produção de polpas e outros derivados resulta em alta produção de resíduos, constituídos principalmente por cascas. Dentre os elementos que se fazem presentes nesses materiais estão os compostos sementes. Como reservatórios de elementos nutritivos, as sementes constituem um material próprio para o aproveitamento, podendo em muitos casos ter um potencial alimentício superior ao das polpas de frutas. Fenólicos e os minerais, cuja procura tem se intensificado em razão dos benefícios para a saúde, cada vez mais estudados, e a pobreza destes nos alimentos produzidos com grãos beneficiados e farinhas refinadas. Farinhas produzidas a partir dessas sementes de consumo não convencional são facilmente utilizáveis, visto que são incorporáveis a outras farinhas ou utilizadas sem misturas. A produção dessas farinhas se torna possível a partir da secagem das sementes, procedimento necessário para estender sua vida útil. A partir de então, é preciso conhecer seu comportamento quanto à adsorção de água sob condições de armazenamento e a degradação de sua qualidade ao longo do tempo. O trabalho foi realizado com o objetivo de caracterizar farinhas de sementes de ata e graviola quanto a capacidade antioxidante, o perfil de fenólicos, a degradação destes com o tempo, a aparência por aferição da cor, o perfil de minerais e as isotermas de adsorção de água em três temperaturas. As duas espécies de sementes originaram farinhas com tonalidades semelhantes, com a farinha de graviola diferenciando-se como mais clara. Apresentaram potencial antioxidante, com 14 tipos de fenólicos detectados na farinha de sementes de ata e 15 na de sementes de graviola. A degradação dos compostos fenólicos foi satisfatoriamente predita por equações de ordem zero e de primeira ordem. As farinhas apresentaram alto teor de cálcio, potássio e fósforo. As isotermas de adsorção de água foram bem ajustadas pelos modelos de Peleg, GAB e Oswin, apresentando-se como isotermas dos tipos II e III em ambas as farinhas.

**Palavras-chaves:** *Annona squamosa*; *Annona muricata* minerais, resíduos agrícolas, bioativos, sustentabilidade, meio ambiente.

### Abstract:

Abstract: The processing of lime (*Annona squamosa*) and soursop (*Annona muricata*) for the production of pulps and other derivatives results in high production of residues, consisting mainly of peels. Among the elements that are present in these materials are the seed compounds. As reservoirs of nutritious elements, seeds are a suitable material for their use, and in many cases they may have a nutritional potential superior to that of fruit pulps. Phenolics and minerals, whose demand has intensified due to the health benefits, which are increasingly studied, and their poverty in foods produced with processed grains and refined flours. Flours produced from these seeds for non-conventional consumption are easily usable, since they can be incorporated into other flours or used without mixtures. The production of these flours is made possible by drying the seeds, a necessary procedure to extend their useful life. From then on, it is necessary to know its behavior regarding the adsorption of water under storage conditions and the degradation of its quality over time. The work was carried out with the objective of characterizing flours of seeds of lime and graviola in terms of antioxidant capacity, phenolic profile, their degradation over time, appearance by color measurement, mineral profile and isotherms of adsorption of water at three temperatures. The two species of seeds originated flours with similar shades, with soursop flour differentiating itself as lighter. They presented antioxidant potential, with 14 types of phenolics detected in the flour of minutes of seeds and 15 in that of soursop seeds.

The degradation of phenolic compounds was satisfactorily predicted by zero order and first order equations. Flours were high in calcium, potassium and phosphorus. The water adsorption isotherms were well adjusted by the Peleg, GAB and Oswin models, presenting themselves as types II and III isotherms in both flours.

**Keywords:** *Annona squamosa*; *Annona muricata* minerals, agricultural residues, bioactive, sustainability, environment.

## 1 - Introdução

A ata e a graviola, ambas da família *Annonacea*, são frutas de elevado valor econômico e nutricional. Além de frutas de mesa, também são processadas na indústria de polpas para produção de refrescos, geleias, doces e sorvetes (RICARDINO et al., 2020). As duas espécies tem em comum a grande quantidade de resíduos gerados no processamento, cerca de 40% da produção, compostos por restos de polpa, casca e sementes (DEL'ARCO et al., 2018), onde se encontra concentrações consideráveis de compostos fenólicos com atividade antioxidante, vitaminas e minerais, justificando o aproveitamento para elaboração de subprodutos apropriados para aporte de princípios nutricionais.

A alimentação baseada em produtos derivados de grãos refinados é pobre em elementos minerais, comumente eliminados nos processos de beneficiamento (ZANATTA et al. 2010). A complementação nutricional visando suprir essa deficiência é uma alternativa importante de aproveitamento de resíduos agroindustriais, que costumam ser ricos nestes elementos.

Os compostos fenólicos influenciam o valor nutricional e a qualidade sensorial, conferindo atributos como cor, textura, amargor e adstringência. Devido à alta atividade antioxidante, os compostos fenólicos desempenham um papel importante na inibição do risco de doenças cardiovasculares e podem atuar sobre o estresse oxidativo, relacionado com diversas patologias crônico-degenerativas, como o diabetes, o câncer e processos inflamatórios (LEITE et al., 2018).

Para o aproveitamento de sementes de consumo não tradicional, a apresentação física mais conveniente é na forma de farinhas, de fácil incorporação a outros produtos por meio de misturas. Neste caso, após secagem das sementes até um teor de água que permita a conversão em farinhas, obtém-se um material pronto para combinação com farinhas de panificação, originando produtos com características nutricionais e sensoriais controláveis a partir da escolha do percentual utilizado na mistura.

Para conhecer as condições de teor de água e o nível de proteção a que as farinhas devem ser submetidas, é necessário determinar seu comportamento quanto à absorção de água a fim de prever a higroscopicidade sob temperaturas diversas e o tipo de embalagem exigido para sua conservação nos tempos decorridos entre a produção e o uso, informações estas providas pela determinação das isotermas de adsorção de água. Conforme Gusmão et al. (2018), mesmo em produtos desidratados, como farinhas, onde a água está presente em baixas proporções, seu controle é fundamental sobre as características do material em condições de armazenamento.

Dessa forma, este trabalho teve como objetivo caracterizar as farinhas obtidas de sementes de ata e graviola, quanto à atividade antioxidante, o perfil de fenólicos e a cinética de degradação destes realizar a análise colorimétrica, determinar o perfil de minerais e as isotermas de adsorção de água em três temperaturas.

## **2 - Material e métodos**

### **2.1 - Matérias-primas**

As sementes de ata (*Annona squamosa* L.) e graviola (*Annona muricata* L.) foram obtidas do descarte de indústrias de polpas de frutas no município de Campina Grande, PB.

### **2.2 - Processamento da matéria-prima**

No laboratório, as sementes foram lavadas em água corrente e sanitizadas em solução com hipoclorito de sódio (100 ppm) por 10 min. Em seguida, foram lavadas, novamente, em água corrente e dispostas em bandejas de aço inoxidável a fim de eliminar a água residual, sendo estocadas em embalagens plásticas a temperatura de -18 °C, até a realização dos ensaios experimentais.

### **2.3 - Obtenção das farinhas**

As sementes de ata e graviola foram colocadas em bandejas teladas e submetidas a secagens em secador de leito fixo, na temperatura de 70 °C, com velocidade do ar de 1,5 m/s. Em seguida, o material seco foi triturado em moinho de facas e transformado em farinha de sementes de ata (FSA) e farinha de sementes de graviola (FSG).

## 2.4 - Obtenção dos extratos

Para produzir os extratos da FSA e FSG foi utilizado metanol a 70 %. Os extratos fenólicos foram obtidos numa proporção amostra/ solvente de 1:10.

## 2.5. Atividade antioxidante

### 2.5.1 - Método do poder antioxidante de redução do ferro (FRAP)

A atividade antioxidante do extrato das farinhas foi determinada pelo método de redução do ferro FRAP (*Ferric Reducing Antioxidant Power*) (RUFINO et al., 2006), com adaptações. Na ausência de luz, o reagente FRAP foi preparado com tampão acetato 300 mmol/L (pH 3,6), 2,4,6-tris (2-piridil)-s-triazina (TPTZ) 10 mmol/L em uma solução de HCl 40 mmol/L e FeCl<sub>3</sub> 20 mmol/L. Uma alíquota adequada do extrato foi transferida para um tubo de ensaio e adicionados 0,27 mL de água ultrapura e 2,7 mL do reagente FRAP. A mistura foi agitada e mantida em banho durante 30 minutos a 37 °C. Após o resfriamento até temperatura ambiente, amostras e padrões foram lidos em espectrofotômetro UV-vis (Shimadzu) a 595 nm.

### 2.5.2 - ABTS•+

A atividade antioxidante pelo método ABTS•+ (2,2-azinobis(3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico)) foi determinada de acordo com a metodologia de (EMBRAPA 2007). O radical ABTS•+ foi formado pela reação da solução de 7 mmol ABTS com 140 mmol de persulfato de potássio incubado a 25 °C, sem incidência de luz, por 16 horas. O radical foi diluído em etanol para a absorbância de  $0,70 \pm 0,05$  a 734 nm. Uma alíquota de 300 mL da amostra foi transferida para 2700 mL do radical e as leituras em espectrofotômetro UV-vis (Shimadzu) foram realizadas 6 minutos após adição da amostra em ambiente escuro.

### 2.5.3 - Atividade pelo sequestro do radical livre DPPH•

A capacidade de eliminação de radicais livres dos extratos foi determinada com base no método DPPH• (RUFINO et al., 2007), com modificações. Uma alíquota do extrato foi adicionada em 3,0 mL de solução diluída de DPPH• (2,2-difenil-1-picril-hidrazil) em etanol (0,0236 mg/mL), agitada e incubada durante 30 minutos no escuro, e a absorbância das

amostras e padrões foi medida em espectrofotômetro UV-vis (Shimadzu) a 517 nm. A curva padrão foi realizada com Trolox (6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcromano- ácido 2- carboxílico) (100-2000  $\mu\text{mol/L}$  em etanol). Os resultados foram expressos em  $\mu\text{mol}$  equivalente Trolox/g.

## 2.6 - Identificação e quantificação dos compostos fenólicos

Os flavonóis: catequina, epicatequina, epicatequina galato, epigallocatequina galato, procianidina B1 e procianidina B2, kaempferol, rutina e quercitina; estilbenos: *trans* e *cis* resveratrol; ácidos fenólicos: caftárico, cafeico, siríngico, , clorogênico, flavanonas: naringenina e hesperidina foram determinados nas amostras em cromatógrafo líquido de alta eficiência (CLAE) utilizando um sistema HPLC Agilent modelo 1260 Infinity LC (Agilent Technologies, Santa Clara, CA, USA) equipado com bomba quaternária de solventes (modelo G1311C), degaseificador, compartimento de colunas termostaticado (modelo G1316A) e amostrador automático (modelo G1329B). Acoplado em Detector de Arranjos de Diodos (DAD) (modelo G1315D). Os dados obtidos foram processados utilizando o software OpenLAB CDS ChemStation Edition™ (Agilent Technologies). O procedimento analítico foi conforme a metodologia de determinação rápida validada por Padilha et al. (2017).

## 2.7 - Cinética de degradação dos compostos fenólicos totais

A cinética de degradação de compostos fenólicos foi realizada em condições de temperatura e umidade relativa controlada. As amostras das farinhas foram armazenadas em recipientes de vidro herméticos contendo solução saturada de cloreto de sódio (NaCl), nas temperaturas de 15, 25 e 35 °C, de forma a se criar ambientes com umidade relativa média de 75%. Foram determinados os teores dos compostos fenólicos totais a cada dois dias, durante o período de 16 dias, de acordo com o método de Folin & Ciocalteu descrito por Waterhouse (2006). As constantes cinéticas de ordem zero e de primeira ordem foram calculadas utilizando-se os modelos cinéticos apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1.** Modelos cinéticos de ordem da reação

Ordem da reação	Modelo
Zero	$A = A_0 - k\theta$
Primeira	$\ln \frac{A}{A_0} = -k\theta$

A – Concentração do parâmetro avaliado após um tempo “ $\theta$ ”;  $A_0$  - concentração inicial do parâmetro avaliado; k – constante da velocidade da reação; e  $\theta$  – tempo.

Para avaliar o modelo que foi melhor ajustado aos dados experimentais foi utilizado como parâmetro o coeficiente de determinação ( $R^2$ ).

O tempo de meia vida ( $\theta_{1/2}$ ) foi calculado utilizando-se as Equações 1 e 2, para os modelos de ordem zero e primeira ordem, respectivamente. O valor de k utilizado foi o do modelo cinético que melhor se ajustou aos dados experimentais das cinéticas de degradação dos compostos fenólicos totais (AZEREDO, 2004).

$$\theta_{1/2} = \frac{A_0}{2k} \quad (1)$$

$$\theta_{(1/2)} = \frac{0,693}{k} \quad (2)$$

Para avaliar o efeito da temperatura na constante da velocidade da reação (k) foi aplicada uma equação do tipo Arrhenius (Equação 3). Os valores de k utilizados foram dos modelos que melhor se ajustaram aos dados experimentais das cinéticas de degradação dos compostos fenólicos totais.

$$k = k_0 e^{\left(\frac{-E_a}{RT}\right)} \quad (3)$$

onde:

k – constante da velocidade da reação (1/dia);

$k_0$  – fator pré-exponencial (1/dia);

$E_a$  – energia de ativação (J/mol);

R – constante universal dos gases (8,31 J/mol K); e

T – temperatura absoluta (K).

O fator  $Q_{10}$  (Equação 4) expressa a dependência da alteração dos compostos fenólicos totais à mudança de temperatura e foi calculado utilizando-se o k do modelo com melhor ajuste.

$$Q_{10} = \frac{k_{(T+10)}}{k_T} \quad (4)$$

onde:

k – constante da velocidade da reação (1/dia); e

T – temperatura absoluta (K).

## 2.8 - Análise colorimétrica

A cor das farinhas foi avaliada por meio do colorímetro portátil Delta Color. As coordenadas de cor foram lidas no sistema CIELAB: L\* (luminosidade), a\* (transição da cor verde para vermelho) e b\* (transição da intensidade de azul para amarelo); a tonalidade cromática ou ângulo hue ( $h^\circ$ ) e a saturação da cor ou croma ( $C^*$ ) foram calculadas de acordo com as Equações 5 e 6, respectivamente.

$$h^\circ = \arctan\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad (5)$$

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (6)$$

## 2.9 - Perfil de minerais

O perfil de minerais das farinhas foi identificado e quantificado em Espectrômetro de Fluorescência de Raios-X por Energia Dispersiva (Shimadzu EDX-7000).

## 2.10 - Isotermas de adsorção de água

As isotermas de adsorção de água foram determinadas a 20, 30 e 40 °C nas farinhas das sementes de ata e graviola de acordo com a metodologia proposta por Capriste e Rotstein (1982), utilizando higrômetro Aqualab (Decagon Devices®) para determinar a atividade de água. Os modelos de Caurie, Iglesias, Oswin, BET, Smith, GAB e Peleg (Tabela 1) foram ajustados aos dados de adsorção de água utilizando-se regressão não linear, pelo método Quase-Newton por meio do programa computacional Statistica 7.7.

**Tabela 2.** Modelos de ajuste de isotermas de sorção de água

Modelo	Equação
Caurie	$X_e = \exp. (a + (b \cdot a_w))$
Iglesias	$X_e = a + (b \cdot \left(\frac{a_w}{(1 - a_w)}\right))$
Oswin	$X_e = a \left(\frac{a_w}{(1 - a_w)}\right)^b$
Smith	$X_e = M_b - M_a \cdot (\exp (1 - a_w))^{-1}$
GAB	$X_e = \frac{X_m \cdot C \cdot K \cdot a_w}{(1 - Ka_w)(1 - Ka_w + CKa_w)}$
Peleg	$X_e = k_1 \cdot a_w^{n_1} + k_2 a_w^{n_2}$

Onde:  $X_e$  - teor de água de equilíbrio (% bs);  $a_w$  - atividade de água;  $X_m$  - teor de água na monocamada molecular (% bs); C e K - parâmetros que dependem da temperatura e natureza do produto;  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $n_1$ ,  $n_2$ , a e b - constantes da equação.

Os critérios usados para determinação dos melhores ajustes foram o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e o desvio percentual médio (P), calculado conforme a Equação 4.

$$P = \frac{100}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{|(X_{\text{exp}} - X_{\text{pre}})|}{X_{\text{exp}}} \quad (4)$$

Em que: P - desvio percentual médio (%);  $X_{\text{exp}}$  - valores obtidos experimentalmente;  $X_{\text{pre}}$  - valores preditos pelo modelo; n - número de dados experimentais.

### 3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

A determinação da atividade antioxidante em farinhas é realizada por diversos métodos, considerando-se a utilização de mais de um método como essencial para a obtenção de resultados confiáveis. Assim, foram utilizados os ensaios dos radicais de DPPH<sup>•</sup>, ABTS<sup>•+</sup> e FRAP, com resultados para as farinhas de sementes de ata e graviola apresentados na Tabela 3.

A farinha das sementes de ata mostrou consistentemente a maior atividade antioxidante pelos métodos de DPPH<sup>•</sup> e ABTS<sup>•+</sup>. No entanto, entre as amostras, não houve diferença estatística na capacidade de reduzir Fe<sup>3+</sup> a Fe<sup>2+</sup> no ensaio FRAP. A maior atividade antioxidante apresentada pela farinha de sementes de ata se deve provavelmente ao seu teor

dos compostos fenólicos totais ser superior a da graviola. Hipótese similar foi levantada por Fortes et al. (2020) que relacionaram o maior poder antioxidante de sementes de abóbora (*Cucurbita moschata*) em ensaio ABTS<sup>•+</sup> (14970,33 mM Trolox/kg bu) ao seu conteúdo total de fenólicos, compostos com maior poder antioxidante; e por Mora-López et al. (2018) que também associaram a atividade antioxidante de sementes de *Moringa oleífera* determinada por DPPH<sup>•</sup> (4,87 mM Trolox/kg bs) e ABTS<sup>•+</sup> (11,65 mM Trolox/kg bs) ao conteúdo dos compostos fenólicos totais. O método de Folin-Ciocalteu depende da redução do molibdênio e tungstênio através de substâncias tais como polifenóis, ácido ascórbico, açúcares redutores e aminoácidos, que pode implicar no decréscimo na absorvância superestimando o CFT na presença destes agentes redutores (LIMA et al., 2019).

A atividade antioxidante de sementes tem sido investigada em outros estudos, obtendo valores superiores. Liu et al. (2019) determinaram a atividade antioxidante de 15 produtos de trigo sarraceno (*Fagopyrum esculentum* Moench e *Fagopyrum tataricum* (L.) Gaertn), relataram valores por DPPH<sup>•</sup> de 11,19-17,16 mM Trolox/kg, por FRAP de 49,0-74,3 mM Fe<sup>2+</sup>/kg e ABTS<sup>•+</sup> de 32,10-50,97 mM Trolox/kg bu. Silva et al. (2020) determinaram em amêndoa de baru (*Dipteryx alata* Vog.) pelos métodos de ABTS<sup>•+</sup> valor de 170,72 mM Trolox/kg bu, DPPH<sup>•</sup> de 259,10 mM Trolox/kg bu, e FRAP de 144,49 mM Trolox/kg bu.

**Tabela 3.** Atividade antioxidante em farinha de sementes de ata e graviola

<b>Farinha de sementes</b>	<b>DPPH<sup>•</sup> (mM Trolox/kg bs)</b>	<b>ABTS<sup>•+</sup> (mM Trolox/kg bs)</b>	<b>FRAP (AOX mM Fe<sup>2+</sup>/kg bs)</b>	<b>CFT (mg EAG/100 g bs)</b>
Ata	4,71±0,04 a	6,58±0,15 a	2,90±0,13 a	455,96± 1,89a
Graviola	3,87±0,08 b	3,42±0,08 b	2,91±0,08 a	371,36± 1,11b

Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade (p < 0,05). CFT – compostos fenólicos totais

Na Tabela 4 tem-se os perfis cromatográficos obtidos das farinhas de sementes de ata (FSA) e de graviola (FSG), que apresentaram alguns dos principais compostos fenólicos: a Quercetina-3-glicosídeo, Naringenina e Procianidina B2, representando 62,81% do total de fenólicos da farinha de sementes de ata; e na farinha de sementes de graviola, a Quercetina-3-glicosídeo, Hesperidina, Procianidina B2 e Epigallocatequina galato, representaram 68,38% dos compostos fenólicos presentes. O ácido caftárico, ácido sirínigico

e hesperidina não foram identificados, em valores quantificáveis na farinha de sementes de ata; o mesmo ocorreu com Cis-Resveratrol e Naringenina na farinha de sementes de graviola. A epicatequina está não presentes em baixos níveis. A farinha de semente de graviola apresentou maiores teores para 90% dos compostos encontrados. Em ambas as farinhas a Quercetina-3-glicosídeo apresentou os maiores teores.

**Tabela 4.** Identificação e quantificação dos compostos fenólicos por HPLC presentes nas farinhas de sementes de ata (FSA) e de graviola (FSG)

<b>Parâmetros (mg/100 g)</b>	<b>FSA</b>	<b>FSG</b>
<b>Flavonoides</b>		
Catequina	0,4065 ± 0,0125 b	0,4595 ± 0,0134 a
Epicatequina	0,0084 ± 0,0011 b	0,0190 ± 0,0004 a
Epicatequina galato	0,3393 ± 0,0109 b	0,5740 ± 0,0103 a
Epigallocatequina galato	0,1886 ± 0,0086 b	1,1850 ± 0,0578 a
Procianidina B1	0,1458 ± 0,0120 a	0,1024 ± 0,0061 b
Procianidina B2	0,5422 ± 0,0236 b	1,4008 ± 0,0578 a
Kaempferol-3-glicosídeo	0,0889 ± 0,0076 b	0,1920 ± 0,1893 a
Rutina	0,2126 ± 0,0146 b	0,7600 ± 0,0133 a
Quercetina-3-glicosídeo	2,1504 ± 0,0575 b	4,4308 ± 0,0460 a
<b>Total de flavonoides</b>	<b>4,0827</b>	<b>9,1235</b>
<b>Estilbenos</b>		
Cis-Resveratrol	0,1605 ± 0,0188	ND
trans-Resveratrol	0,1311 ± 0,0059 b	0,1592 ± 0,0129 a
<b>Total de estilbenos</b>	<b>0,2916</b>	<b>0,1592</b>
<b>Ácidos fenólicos</b>		
Ácido caftárico	ND	0,5733 ± 0,0157
Ácido caféico	0,0714 ± 0,0003 b	0,7860 ± 0,2365 a
Ácidos siríngico	ND	0,2581 ± 0,0167
Ácido clorogênico	0,2964 ± 0,0342 a	0,2298 ± 0,0112 b
<b>Total de ácidos fenólicos</b>	<b>0,3678</b>	<b>1,8472</b>
<b>Flavanonas</b>		
Hesperidina	ND	1,8781 ± 0,0591
Naringenina	0,7684 ± 0,0266	ND
<b>Total de flavanonas</b>	<b>0,7684</b>	<b>1,8781</b>

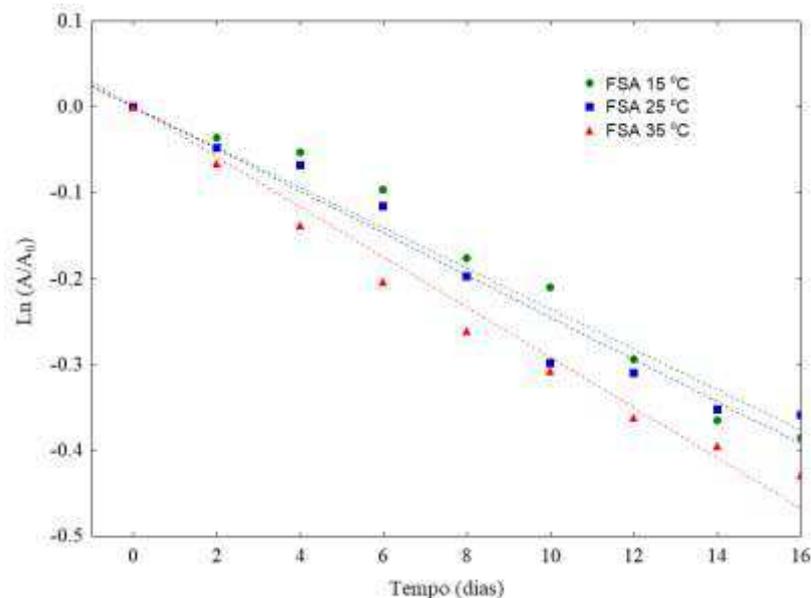
Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Os compostos fenólicos atuam como sequestradores de radicais livres, prevenindo o processo de autoxidação, através de mecanismos como a complexação de metais e a inativação de oxigênio singlete (ARANHA et al., 2017). Os compostos fenólicos nos alimentos influenciam na cor, sabor, odor, amargor, adstringência e estabilidade oxidativa (GRYGORIEVA et al., 2020).

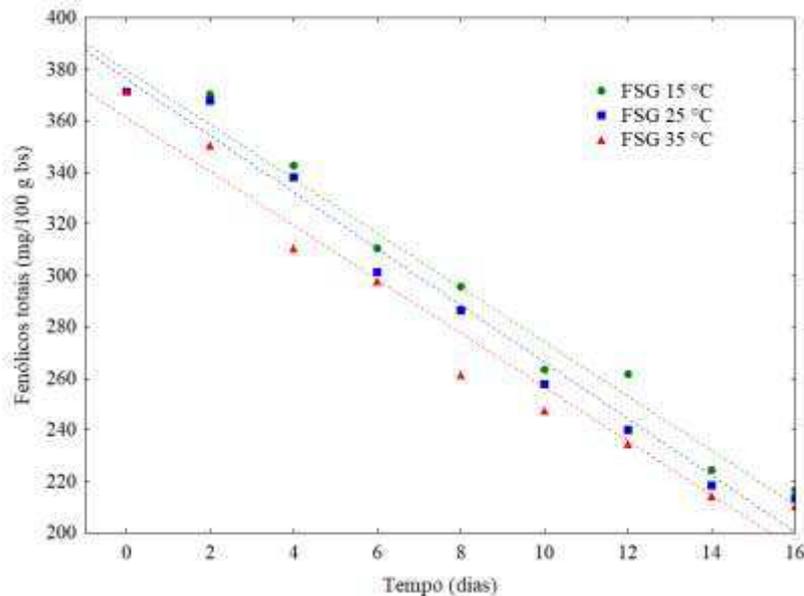
Os teores de compostos fenólicos apresentaram valores elevados em comparação com farinhas de resíduo de laranja e acerola (STORCK et al., 2015). Bertagnolli et al. (2014) avaliaram o teor de compostos fenólicos de farinha de cascas de goiaba e verificam uma variação de 26,72 a 37,76 mg/100 g.

Do perfil o teor total dos compostos fenólicos da farinha de sementes de graviola, de 13,081 mg/100 g foi superior aos verificado por Zopellaro et al., 2019 em farinha de resíduo de uva 8,13 mg/100 g. Schulz et al. (2019) em amoras-pretas maduras (*Rubus ulmifolius* Schott), de 11,60 mg/100 g (bs), com conteúdo de ácido salicílico, naringenina, ácido caféico e catequina. Xu et al. (2020) ao quantificarem em acerolas o teor dos compostos fenólicos totais, verificaram valores variando de 1421 a 2448 mg/100 g, inferiores à metade dos encontrados na farinha de sementes de ata, de 5,5105 mg/100 g.

Nas Figuras 1 e 2, verifica-se o comportamento da cinética de degradação dos compostos fenólicos das farinhas de sementes de ata e graviola, com curvas de ajuste obtidas com o modelo de primeira ordem e ordem zero, respectivamente. Observa-se decréscimos no teor dos compostos fenólicos totais durante o armazenamento, ocasionados pela degradação, com maiores reduções em maiores temperaturas. De acordo com Mba, Kwofie e Ngadi (2019) o processo de degradação de compostos fenólicos depende das condições em que as amostras foram processadas e da temperatura de secagem. Lien (2017), estudando a degradação de compostos fenólicos em farinhas de soja, verificou que a degradação dos compostos fenólicos é dependente do tempo e da temperatura, concordando com os resultados obtidos para FSA e FSG.



**Figura 1** - Cinéticas de degradação de compostos fenólicos de farinha de sementes de ata (FSA) nas temperaturas de 15, 25 e 35 °C, ajustadas com o modelo de Primeira Ordem



**Figura 2** - Cinéticas de degradação de compostos fenólicos totais de farinha de sementes de graviola (FSG) nas temperaturas de 15, 25 e 35 °C, ajustadas com o modelo de Ordem Zero

Na Tabela 5, tem-se os parâmetros dos modelos cinéticos de ordem zero e primeira ordem usados para avaliar a cinética de degradação dos compostos fenólicos totais, nas temperaturas de 15, 25 e 35 °C nas farinhas de sementes de ata e graviola, obtidas por secagem na temperatura de 70 °C. Verifica-se que o modelo de ordem zero apresentou os melhores ajustes com os maiores coeficientes de determinação ( $R^2$ ) na FSG, e o de primeira ordem ajustou melhor na FSA. Conforme os valores do parâmetro  $k$ , ou constante de velocidade de reação, foi verificada uma maior velocidade de degradação na farinha de sementes de graviola. A constante de velocidade de reação ( $k$ ) aumenta conforme se eleva a temperatura, indicando a influência desta na degradação dos compostos fenólicos, corroborando Zhou et al. (2018).

A constante  $A_0$  e o tempo de meia vida ( $\Theta_{1/2}$ ) em todos os modelos e amostras diminuiu com o aumento da temperatura de armazenamento. Verifica-se que a FSA apresentou tempos de meia vida superiores ao da FSG. Teles et al., (2017) ao avaliarem o efeito da temperatura na degradação de compostos fenólicos em resíduos de uva, também verificaram que a medida em que aumenta a temperatura da secagem, diminui a quantidade de compostos fenólicos.

**Tabela 5.** Parâmetros da cinética de degradação dos compostos fenólicos totais das farinhas das sementes de ata e graviola

Farinha de sementes	Temp. (°C)	Ordem zero				Primeira ordem			
		A <sub>0</sub> (mg/100 g bs)	k (1/dia)	R <sup>2</sup>	Θ <sub>1/2</sub> (dia)	k (1/dia)	R <sup>2</sup>	Θ <sub>1/2</sub> (dia)	
FSA	15	458,24	9,38	0,9964	24,4	0,0235	0,9641	29,5	
FSA	25	454,95	9,53	0,9597	23,9	0,0246	0,9613	28,2	
FSA	35	441,54	9,93	0,9678	22,2	0,0292	0,9765	23,7	
FSG	15	379,43	10,54	0,9799	18,0	0,0325	0,9627	21,3	
FSG	25	376,11	10,99	0,9795	17,1	0,0355	0,9774	19,5	
FSG	35	371,29	11,12	0,9648	16,7	0,0385	0,9829	18,0	

FSA - Farinha de sementes de ata; FSG – Farinha de sementes de graviola.

Tem-se na Tabela 6 os parâmetros da equação de Arrhenius e o coeficiente de reação (Q<sub>10</sub>) da cinética de degradação dos compostos fenólicos totais nas farinhas de sementes de ata e graviola. Os resultados mostram que a farinha de sementes de ata requereu maior energia de ativação para iniciar o processo de degradação dos fenólicos em comparação com a farinha de sementes de graviola, corroborando com o comportamento do tempo de meia vida. Se a energia de ativação é maior, a degradação é retardada. Os valores da energia de ativação estão relacionados à natureza do material a ser seco, tornando mais difícil a remoção se a água estiver fortemente ligada a estrutura (BEZERRA et al., 2015).

**Tabela 6-** Parâmetros de Arrhenius e coeficiente de reação (Q<sub>10</sub>) para a degradação dos compostos fenólicos totais em farinhas de sementes de ata e graviola

Farinha de sementes	Parâmetros de Arrhenius			Coeficiente de temperatura (Q <sub>10</sub> )	
	k <sub>0</sub>	E <sub>a</sub> (kJ/mol K)	R <sup>2</sup>	(15-25 °C)	(25-35 °C)
Ata	0,6382	7,9611	0,8876	1,0468	1,1870
Graviola	24,3586	1,9958	0,9173	1,0427	1,0846

O coeficiente  $Q_{10}$  foi maior na faixa de temperatura de 25-35 °C em ambas as farinhas, significando que o aumento da faixa indica maior alteração dos compostos fenólicos totais com o aumento da temperatura.

Para todos os parâmetros de cor tem-se diferenças estatisticamente significativas entre as amostras, conforme a Tabela 7. Na farinha de sementes de ata têm-se valores de luminosidade, intensidade de vermelho, intensidade de amarelo e ângulo de totalidade inferiores aos da farinha de sementes de graviola. A FSA apresentou maior cromaticidade, com a FSG apresentando-se mais clara.

Constata-se que a farinha de sementes de ata, possui a cor mais intensa, quando comparada com a farinha de sementes de graviola, pois apresenta maior valor de  $C^*$ . O croma ( $C^*$ ) é considerado um atributo quantitativo da cor, e é usado para determinar o grau de diferença de uma tonalidade em comparação com uma cor cinza com a mesma luminosidade (MPHAHLELE et al., 2019). Quanto menor o valor do croma, menos pura é a cor, ou seja, quanto maior o valor, maior é a pureza ou intensidade da cor e, conforme o sistema CIELAB, quanto maior o ângulo entre zero e 90° mais amarelado é o material e quanto menor, mais avermelhado. Apesar disso, as duas farinhas apresentaram valores próximos de intensidade de vermelho e de amarelo, distinguindo-se em maior grau na luminosidade, com a FSG com aparência mais clara.

**Tabela 7.** Caracterização colorimétrica das farinhas de semente de ata e graviola

Parâmetros	FSA	FSG
Luminosidade ( $L^*$ )	13,15 ± 0,01 b	19,32 ± 0,01 a
Intensidade de vermelho ( $+a^*$ )	4,17 ± 0,02 b	4,87 ± 0,01 a
Intensidade de amarelo ( $+b^*$ )	13,25 ± 0,02 b	13,64 ± 0,01 a
Croma ( $C^*$ )	72,54 ± 0,01 a	70,35 ± 0,00 b
Ângulo de tonalidade - $h^*$ (°)	13,89 ± 0,03 b	14,48 ± 0,01 a

Os teores de minerais, sódio (Na), magnésio (Mg), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), manganês (Mn), ferro (Fe), cobre (Cu) e zinco (Zn) das farinhas de sementes de ata e graviola são apresentados na Tabela 8. Os resultados obtidos mostram que os macro minerais potássio, cálcio e fósforo estão presentes em maiores concentrações nas farinhas de sementes

de ata e graviola. , O alto teor de cálcio e potássio nas farinhas de sementes faz delas boas fontes naturais de suplementação para dietas mais exigentes (AL-FARGA et al., 2016). De acordo com os valores de IDR (Ingestão Diária Recomendada) para adultos (BRASIL, 2005) para o magnésio (260 mg), ferro (14 mg), zinco (7 mg), manganês (2,3 mg), cobre (900 µg) e cálcio (1000 mg) as farinhas FSA e FSG superam em muito os valores recomendados pela IDR para o magnésio, ferro, zinco, manganês e cálcio.

Segundo a National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (2019) a ingestão diária recomendada de potássio para adultos é de 4700 mg, indicando que as FSA e FSG apresentaram teores muito superiores a esta recomendação.

El Maaiden et al. (2020) avaliando sementes de jujuba (*Ziziphus lotus*) encontraram teores de K (179,60 mg/100 g ms), Ca (74,80 mg/100 g ms), Mg (68,69 mg/100 g ms), Na (22,77 mg/100 g ms), Fe (0,50 mg/100 g ms) e Zn (0,59 mg/100 g ms), valores muito inferiores ao das farinhas FSA e FSG. O percentual encontrado para o micromineral zinco foi de pouco mais de 500 mg/100 g, sendo muito superior ao das sementes de camu-camu com teor de 0,580-0,947 mg/100 g (FREITAS et al., 2019). O conteúdo de cobre registrado nesse estudo foi acima de 300 mg/100 g, superando em mais de 500 vezes o das sementes de camu-camu (FREITAS et al., 2019).

**Tabela 8.** Identificação e quantificação do perfil de minerais presentes nas farinhas de sementes de ata e graviola

Minerais (mg/100 g)	FSA	FSG
Na	451,56 ± 0,69 a	423,53 ± 0,11 b
Mg	5037,04 ± 0,44 b	5968,16 ± 0,22 a
P	12448,55 ± 0,20 b	14759,51 ± 0,67 a
K	39326,83 ± 0,13 b	49137,48 ± 0,44 a
Ca	38864,77 ± 0,13 a	26553,33 ± 0,11 b
Mn	350,24 ± 0,18 b	359,08 ± 0,36 a
Fe	614,93 ± 0,07 b	651,21 ± 0,67 a
Cu	372,35 ± 0,11 b	444,40 ± 0,67 a
Zn	692,82 ± 0,07 a	545,29 ± 0,89 b

Na Tabela 9 estão apresentados os parâmetros de ajuste dos modelos de Caurie, Iglesias, Oswin, Smith, GAB e Peleg ajustados aos dados experimentais de teor de água de

equilíbrio em função da atividade de água nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C da farinha de sementes de ata, com os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e os desvios percentuais médios (P). Com base nos dados apresentados, observou-se pelos coeficientes de determinação e desvios percentuais médios, que todos os modelos utilizados para descrição das isotermas de adsorção de água da FSA realizaram boa representação do fenômeno ( $R^2 > 0,90$  e  $P < 10\%$ ), exceto o modelo de Iglesias a 30 °C. No entanto os modelos de Peleg e GAB, de forma geral, representaram com superioridade as isotermas com os maiores coeficientes de determinação ( $R^2 > 0,990$ ) e menores desvios percentuais médios ( $P < 5,5\%$ ).

Torres e Seijo (2016) estudaram as isotermas de adsorção de água da farinha e do amido isolado de arroz nas temperaturas de 25, 35, 45 e 55 °C utilizando o modelo de GAB, em que verificaram que o modelo de GAB ( $R^2 > 0,993$  e  $P < 3,9\%$ ) se ajustou bem aos dados experimentais, gerando isotermas do Tipo II. Silva et al. (2015) determinaram as isotermas de adsorção de água da farinha das fibras residuais secas de manga nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C e ajustaram os modelos de GAB, Peleg e Oswin aos dados experimentais, constatando que, dentre todos, o modelo de Peleg foi o que melhor representou a higroscopicidade da farinha, e as isotermas se classificaram de forma distinta conforme a temperatura, sendo do Tipo II a 40 °C e tipo III a 20 e 30 °C.

O modelo de Oswin apresentou altos valores de  $R^2$ , porém com valores de P inferiores aos dos modelos de Peleg e GAB nas temperaturas de 20 e 40 °C, indicando maior dispersão entre os dados experimentais e os preditos pelo modelo.

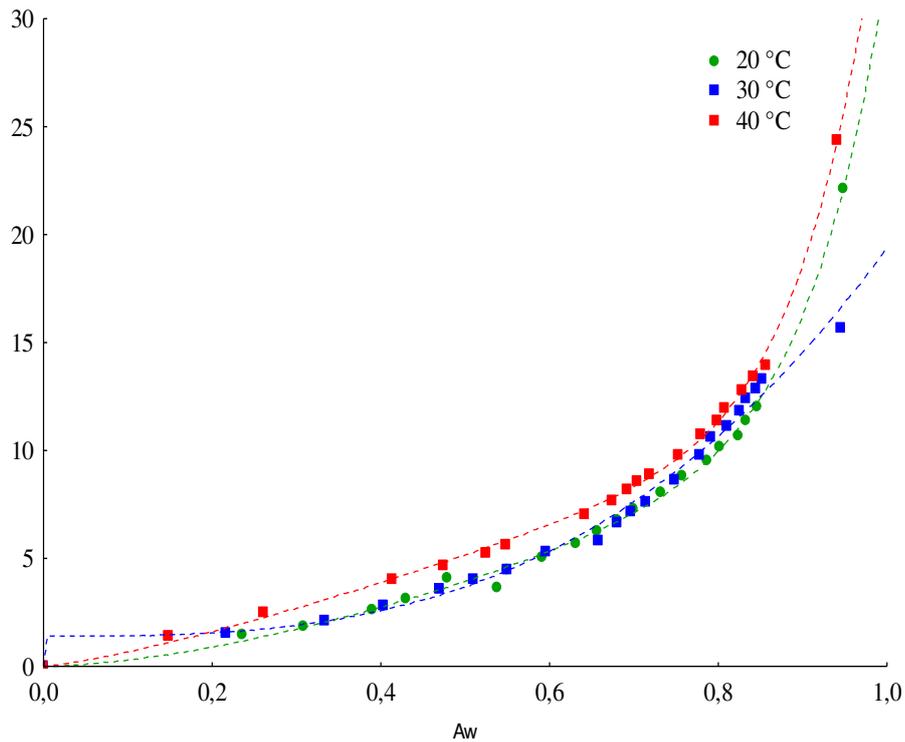
O teor de água na monocamada molecular ( $X_m$ ) do modelo de GAB variou de 3,1236 a 3,9417, sem tendência definida com o incremento da temperatura. O modelo de GAB propicia o entendimento físico da teoria da adsorção quando ajustado aos dados experimentais das isotermas (ANDRADE et al., 2011; MOREIRA et al., 2013). O parâmetro  $X_m$  indica a quantidade de água que está fortemente adsorvida a sítios específicos na superfície do produto, considerado importante para o armazenamento por longos períodos e crítico em algumas reações de degradação, diminuindo a estabilidade da matriz alimentar quando se apresenta em valores mais elevados (COMUNIAN et al., 2011; SOUSA et al., 2014).

De acordo com a classificação de Blahovec (2004) as isotermas da farinha de sementes de ata se classificam como Tipo II, nas temperaturas de 30 e 40 °C em razão de terem apresentado valores de  $0 < K \leq 1$  e  $C > 2$ , e na temperatura de 20 °C tipo III ( $0 < K \leq 1$  e  $C \leq 2$ ).

**Tabela 9.** Parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios percentuais médios (P) das isotermas de adsorção da farinha de sementes de ata (FSA)

Modelos	Temperatura (°C)	Parâmetros			$R^2$	P (%)	
		a	b				
<b>Caurie</b>	20	-1,1383	4,4283		0,9728	4,89	
	30	-0,9809	4,2084		0,9880	3,68	
	40	-0,2007	3,3425		0,9843	6,73	
<b>Iglesias</b>	20	3,4252	1,1865		0,9336	4,80	
	30	4,3730	0,9734		0,8053	5,84	
	40	4,0162	1,4805		0,9457	6,65	
<b>Oswin</b>	20	4,3139	0,5747		0,9941	6,43	
	30	5,0531	0,4635		0,9501	5,20	
	40	5,1651	0,5650		0,9991	4,31	
<b>Smith</b>	20	$M_b$ -14,0845	$M_a$ -30,4170		0,9149	6,17	
	30	-12,6960	-28,4928		0,9687	6,03	
	40	-14,0131	-32,1990		0,9176	4,98	
<b>GAB</b>	20	$X_m$ 3,1236	$C$ 2,4050	$K$ 0,9142	0,9973	3,31	
	30	3,9417	3,1309	0,9123	0,9934	5,09	
	40	3,1533	5,7180	0,9276	0,9992	2,83	
<b>Peleg</b>	20	$n_1$ 20,3091	$k_1$ 11,4508	$n_2$ 12,0500	$k_2$ 1,6133	0,9973	3,83
	30	21,4024	11,0000	12,9739	1,2716	0,9954	4,25
	40	25,7022	11,4601	12,4209	1,2672	0,9993	3,07

Na Figura 3 são apresentadas as isotermas de adsorção de água nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C das farinhas de sementes de ata, com ajustes pelo modelo de Peleg. Observe-se os dados de adsorção de água e as isotermas a 20 e 30 °C apresentaram comportamentos praticamente indistinguíveis em toda a faixa de atividade de água, diferenciando-se da adsorção à 40 °C.



**Figura 3.** Isotermas de adsorção de água a 20, 30 e 40 °C das farinhas de sementes de ata com ajustes pelo modelo de Peleg

Na Tabela 10 estão apresentados os parâmetros de ajuste dos modelos de Caurie, Iglesias, Oswin, Smith, GAB e Peleg aos dados experimentais de teor de água de equilíbrio em função da atividade de água nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C da farinha de sementes de graviola, com os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e os desvios percentuais médios (P). Os modelos apresentaram bons ajustes, com  $R^2 > 0,90$  e  $P < 10,0\%$ , podendo ser utilizados para estimar as isotermas de adsorção da farinha de sementes de graviola, exceto os modelos de Iglesias e Smith nas temperaturas de 40 e 20 °C, respectivamente. Dentre estes, os modelos de Peleg, GAB e Oswin apresentaram os maiores coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e os menores desvios percentuais médios (P), sendo os mais indicados para predição das isotermas, com destaque para o modelo de Peleg.

Bracht et al. (2015) determinaram, utilizando o método estático, as isotermas de equilíbrio para a farinha de sementes de uva (*Vitis vinifera* L) das variedades Cabernet Sauvignon e Bordô, nas temperaturas de 25, 35 e 50 °C. verificando que o modelo de Oswin, obteve bons ajustes, com  $R^2 > 0,90$ .

Constata-se que o valor do parâmetro  $X_m$  do modelo de GAB, que representa o teor de água na monocamada do material adsorvente, variou entre 2,4536 a 3,5826% bs, apresentando aumento com o incremento da temperatura.

O parâmetro K, que segundo Catelam et al. (2011) representa uma medida das interações entre as moléculas do adsorvato com o adsorvente, apresentou decréscimo com o aumento da temperatura. No valor de C, constante relacionada ao calor de sorção da camada molecular, não foi observado tendência definida com o aumento da temperatura. De acordo com Santos et al. (2014) variações no valor da constante C podem estar relacionadas às mudanças irreversíveis associadas ao aumento da temperatura, como reações enzimáticas e desnaturação de proteínas.

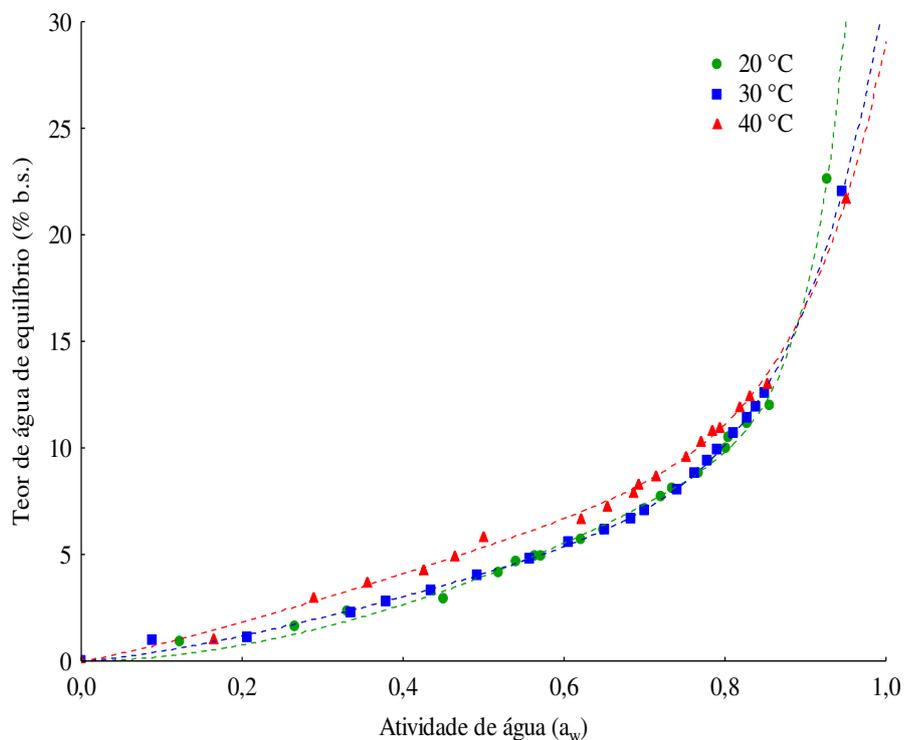
De acordo com a classificação de Blahovec (2004) as isotermas da farinha de sementes de graviola se classificam como Tipo II, nas temperaturas de 20 e 40 °C em razão de terem apresentado valores de  $0 < K \leq 1$  e  $C > 2$ , e na temperatura de 30 °C tipo III ( $0 < K \leq 1$  e  $C \leq 2$ ).

**Tabela 10.** Parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios percentuais médios (P) das isotermas de adsorção da farinha de sementes de graviola

Modelos	Temperatura (°C)	Parâmetros				$R^2$	P (%)
		a	b				
<u>Caurie</u>	20	-0,9508	4,1678		0,9862	6,06	
	30	-0,3061	3,3255		0,9932	7,61	
	40	-0,6257	3,9260		0,9805	6,51	
Iglesias	20	2,2958	1,7324		0,9785	3,75	
	30	3,3033	1,2711		0,9325	7,33	
	40	4,8387	1,0472		0,8883	4,99	
Oswin	20	3,9043	0,6842		0,9974	4,79	
	30	4,4217	0,5741		0,9957	8,71	
	40	5,5657	0,4728		0,9934	4,94	
Smith	20	$M_b$	$M_a$		$R^2$	P (%)	
	20	-13,2271	-29,3526		0,8951	6,58	
	30	-12,6967	-28,8347		0,9194	7,53	
GAB	20	$X_m$	C	K	$R^2$	P (%)	
	20	2,4536	5,0560	0,9626	0,9964	6,68	
	30	3,0757	2,7256	0,9174	0,9996	4,22	
Peleg	20	$n_1$	$k_1$	$n_2$	$k_2$	$R^2$	P (%)
	20	13,9586	1,8113	50,0457	20,7011	0,9983	7,31
	40	3,5826	4,7463	0,8836	0,9981	5,53	

30	15,1675	9,6634	10,3980	1,3491	0,9995	7,89
40	17,1358	9,8560	11,9400	1,1666	0,9989	4,18

Na Figura 4 tem-se a representação gráfica das isotermas de adsorção de água nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C da farinha de sementes de graviola, com ajuste pelo modelo de Peleg. Observa-se até  $a_w$  pouco superiores a 0,8 comportamento semelhante ao das farinhas de sementes de ata, com as isotermas a 20 e 30 °C praticamente coincidentes, diferindo do comportamento a 40 °C. Acima de  $a_w$  0,8 os comportamentos divergem, invertendo-se as posições das curvas a 20 °C e 40 °C. .



**Figura 4.** Isotermas de adsorção de água a 20, 30 e 40 °C das farinhas de sementes de graviola com ajustes pelo modelo de Peleg

#### 4 - CONCLUSÕES

Ambas as farinhas apresentaram potencial antioxidante, com valores mais elevados na farinha de sementes de ata;

Foi confirmada a presença de 14 compostos fenólicos na farinha de sementes de ata e 15 compostos na farinha de sementes de graviola, com predomínio do flavonoide quercetina-3-glicosídeo em ambas, com valor mais que 100% superior na farinha de graviola;

A cinética de degradação dos compostos fenólicos totais foi bem predita por equação de ordem zero na farinha de sementes de graviola e de primeira ordem na farinha de sementes de ata;

O coeficiente de degradação  $Q_{10}$  confirmou-se mais elevado na faixa de temperatura de 25-35 °C em ambas as farinhas, superando em 2,6% a ocorrida na faixa 15-25 °C na farinha de ata e em 1,4% na de graviola;

Os parâmetros de cromaticidade foram semelhantes nas duas farinhas, enquanto a produzida de sementes de graviola apresentou-se mais clara;

Foram detectados nove minerais nas duas farinhas, com maiores frações de potássio, cálcio e fósforo; maiores teores de cálcio foram encontrados nas farinhas de sementes de ata e maiores de potássio e fósforo na de graviola;

As isotermas de adsorção das farinhas foram bem ajustadas pelos modelos de Peleg, GAB e Oswin, resultando em isotermas do tipo II e III.

## 5 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AL-FARGA, A.; ZHANG, H.; SIDDEEG, A.; SHAMOON, M.; CHAMBA, M. V. M.; AL-HAJJ, N. Proximate composition, functional properties, amino acid, mineral and vitamin contents of a novel food: Alhydwan (*Boerhavia elegana Choisy*) seed flour. **Food Chemistry**, v. 211, n. 1, p. 268-273, 2016.

ANDRADE, R. D.; LUMES, R.; PÉREZ, C. E. Models of sorption isotherms for food: Uses and limitations. **Vitae, Revista de la Facultad de Química Farmaceutica**, v. 18, n. 1, p. 325-334, 2011.

ARANHA, J. B.; NEGRI, T. C.; MARTIN, J. G. P.; SPOTO, M. H. F. Efeito da radiação gama nos parâmetros microbiológicos, físico-químicos e compostos fenólicos de farinha de resíduos de frutas durante armazenamento. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 20, e2016123, 2017.

AZEREDO, H. M. C. **Fundamentos de estabilidade de alimentos**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2004. 195p.

BERTAGNOLLI, S. M. M.; SILVEIRA, M. L. R.; FOGAÇA, A. D. O.; UMANN, L.; PENNA, N. G. Bioactive compounds and acceptance of cookies made with Guava peel flour. **Food Science and Technology**, v. 34, n. 2, p. 303-308, 2014.

- BEZERRA, C. V.; SILVA, L. H. M.; CORRÊA, D. F.; RODRIGUES, A. M. A modeling study for moisture diffusivities and moisture transfer coefficients in drying of passion fruit peel. **International Journal of Heat and Mass Transfer**, v. 85, p. 750–755, 2015.
- BLAHOVEC, J. Sorption isotherms in materials of biological origin mathematical and physical approach. **Journal of Food Engineering**, v. 65, n. 4, p. 489-495, 2004.
- BRACHT, C. K.; MENEZES, M. L.; AMBROSIO UGRI, M. C. B.; PEREIRA, N. C. Determinação das isotermas de equilíbrio das sementes de uva das variedades cabernet sauvignon e bordô. **ENGEVISTA**, v. 17, n. 1, p. 44-58, 2015.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Resolução de Diretoria Colegiada – RDC nº 269, de 22 de setembro de 2005. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 23 set. 2005.
- CAPRISTE, G. H.; ROTSTEIN, E. Prediction of sorptional equilibrium data for starch-containing foodstuffs. **Journal of Food Science**, v. 47, n. 5, p. 1501-1507, 1982.
- CATELAM, K. T.; TRINDADE, C. S. F.; ROMERO, J. T. Water adsorption isotherms and isosteric sorption heat of spray-dried and freeze-dried dehydrated passion fruit pulp with additives and skimmed milk. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1196-1203, 2011.
- COMUNIAN, T. A.; MONTERREY-QUINTERO, E. S.; THOMAZINI, M.; BALIEIRO, J. C. C.; PICCONE, P.; PITTIA, P.; FAVARO-TRINDADE, C. S. Assessment of production efficiency, physicochemical properties and storage stability of spray-dried chlorophyllide, a natural food colourant, using gum Arabic, maltodextrin and soy protein isolate-based carrier systems. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 46, n. 6, p. 1259-1265, 2011.
- DEL'ARCO, A. P. W. T; SYLOS, C. M. Efeito do processamento industrial para obtenção de pasta de goiaba sobre os compostos antioxidantes da goiaba (*Psidium guajava* L.) cv. 'Paluma'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 40, n. 2, e-011, 2018.
- EASTMAN, J. E.; MOORE, C. O. **Cold water-soluble granular starch for gelled food composition**. U.S. Patent 4465702, 1984.
- EL MAAIDEN, E.; EL KHARRASSI, Y.; LAMAOU, M.; ALLAI, L.; ESSAMADI, A. K.; NASSER, B.; MOUSTAID, K. Variation in minerals, polyphenolics and antioxidant activity of pulp, seed and almond of different *Ziziphus* species grown in Morocco. **Brazilian Journal of Food Technology**, 23, e2019206, 2020.

- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. **Metodologia científica:** determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical livre ABTS. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2007. 4p. (Comunicado técnico, 128).
- FORTES, R. R.; BRIGAGÃO, T. C. S.; LOURENÇO, C. O.; CARVALHO, E. E. N.; TAVANO, O. L.; GARCIA, J. A. D.; NACHTIGALL, A. M.; BOAS, B. M. V. Caracterização física e química de farinha de arroz, farinhas de cascas de abacaxi e banana e farinha de sementes de abóbora. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 9, e436997293, 2020.
- FREITAS, C. A. B.; MULLER, R. C. S.; NASCIMENTO, W. M. O.; LIMA, M. O.; FAIAL, K. C. F.; LOPES, A. S. Multivariate analysis of mineral composition of fruits of camu-camu (*Myrciaria dubia*). **Revista Virtual de Química**, v. 11, n. 3, p. 741-753, 2019.
- GRYGORIEVA, O.; KLYMENKO, S.; VERGUN, O.; MŇAHONČAKOVA, E.; BRINDZA, J.; TEREŇTJEVA, M.; IVANIŠOVA, E. Evaluation of the antioxidante activity and phenolic content of Chinese quince (*Pseudocydonia sinensis* Schneid.) fruit. **Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria**, v. 19, n. 1, p. 25–36, 2020.
- GUSMÃO, R. P.; GUSMÃO, T. A. S.; MOURA, H. V.; DUARTE, M. E. M.; CAVALCANTI-MATA, M. E. R. M. Caracterização tecnológica de cookies produzidos com diferentes concentrações de farinha de algaroba durante armazenamento por 120 dias. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 21, e2017116, 2018.
- LEITE, S. T.; ROBERTO, C. D.; SILVA, P. I.; CARVALHO, R. V. Polpa de juçara: fonte de compostos fenólicos, aumento da atividade antioxidante e da viabilidade de bactérias probióticas de iogurte. **Revista Ceres**, v. 65, n. 1, p. 16-23, 2018.
- LIEN, D. T. P. Drying kinetics and termal degradation of phenolic compounds and vitamin C in full fat germinated soy flours. *International Journal of food Science and Nutrition*, v. 2, n. 1, p. 10-14, 2017.
- LIU, Y.; CAI, C.; YAO, Y.; XU, B. Alteration of phenolic profiles and antioxidant capacities of common buckwheat and tartary buckwheat produced in China upon thermal processing. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 99, n. 12, p. 5565-5576, 2019. Doi: 10.1002/jsfa.9825.
- MBA, O. I.; KWOFIE, E. M.; NGADI, M. Kinetic modelling of polyphenol degradation during common beans soaking and cooking. **Heliyon**, v. 1, p. 1-7, 2019.
- MORA-LÓPEZ, G. S. L.; LÓPEZ-CERVANTES, J.; GUTIÉRREZ-DORADO, R.; CUEVAS-RODRÍGUEZ, E. O.; MILÁN-CARRILLO, J.; SÁNCHEZ-MACHADO, D. I.; REYES-MORENO, C. Effect of optimal germination conditions on antioxidant activity,

- phenolic content and fatty acids and amino acids profiles of *Moringa oleifera* seeds. **Revista Mexicana de Ingeniería Química**, v. 17, n. 2, p. 547-560, 2018.
- MOREIRA, T. B.; ROCHA, E. M. F. F.; AFONSO, M. R. A.; COSTA, J. M. C. Comportamento das isotermas de adsorção do pó da polpa de manga liofilizada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 10, p. 1093-1098, 2013.
- MPHAHLELE, R. R.; PATHARE, P. B.; OPARA, U. L. Drying kinetics of pomegranate fruit peel (cv. Wonderful). **Scientific African**, v. 5, e00145, 2019.
- NATIONAL ACADEMIES OF SCIENCES, ENGINEERING, AND MEDICINE. 2019. Dietary Reference Intakes for sodium and potassium. Washington, DC: The National Academies Press. doi: <https://doi.org/10.17226/25353>.
- PADILHA, C. V. S.; MISKINIS, G. A.; SOUZA, M. E. A. O.; PEREIRA, G. E.; OLIVEIRA, D.; BORDIGNON-LUIZ, M. T.; LIMA, M. S. Rapid determination of flavonoids and phenolic acids in grape juices and wines by RP-HPLC/DAD: method validation and characterization of commercial products of the new Brazilian varieties of grape. **Food Chemistry**, v. 228, p. 106-115, 2017.
- RICARDINO, I. E. F.; SOUZA, M. N. C.; SILVA NETO, I. F. Vantagens e possibilidades do reaproveitamento de resíduos agroindustriais. **Alimentos: Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente**, v. 1, n. 8, p. 1-25, 2020.
- RUFINO, M. S. M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S.; MORAIS, S. M.; SAMPAIO, C. G.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F. D. Metodologia científica: determinação da atividade antioxidante total em frutas pelo método de redução do ferro (FRAP). **Comunicado técnico - Embrapa Agroindústria Tropical**, v. 125, p. 1-4, 2006.
- RUFINO, M. S. M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S.; MORAIS, S. M.; SAMPAIO, C. G.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F. D. Determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical livre DPPH. **Comunicado Técnico – Embrapa Agroindústria Tropical**, v. 127, p. 1-4, 2007.
- SANTOS, A. A. C.; FLORÊNCIO, A. K. G. D.; ROCHA, E. M. F. F.; COSTA, J. M. C. Avaliação físico-química e comportamento higroscópico de goiaba em pó obtida por spray-dryer. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 3, p. 508-514, 2014.
- SCHULZ, M.; SERAGLIO, S. K. T.; BETTA, F. D.; NEHRING, P.; VALESE, A. C.; DAGUER, H.; GONZAGA, L. V.; COSTA, A. C. O.; FETT, R. Blackberry (*Rubus ulmifolius* Schott): Chemical composition, phenolic compounds and antioxidant capacity in two edible stages. **Food Research International**, v. 122, p. 627-634, 2019.

- SILVA, P. N.; DIAS, T.; BORGES, L. L.; ALVES-SANTOS, A. M.; HORST, M. A.; SILVA, M. R.; NAVES, M. M. V. Total phenolic compounds and antioxidant capacity of baru almond and by-products evaluated under optimizing extraction conditions. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 15, n. 4, e8530, 2020.
- SILVA, S. F.; LEMOS, D. M.; SILVA, F. B.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; SOUSA, E. P. Isotermas de adsorção de água da farinha das fibras residuais secas de manga. **Anais... Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia CONTECC'2015**. Fortaleza - CE, 2015.
- SOUSA, F. C.; ROCHA, A. P. T.; GOMES, J. P.; MARTINS, J. J. A.; MARTINS, J. N. Isotermas de dessorção de folhas *in natura* de juazeiro e mororó. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 44, n. 3, p. 304-310, 2014.
- STORCK, C. R.; BASSO, C.; FAVARIM, F. R.; RODRIGUES, A. C. Qualidade microbiológica e composição de farinhas de resíduos da produção de suco de frutas em diferentes granulometrias. **Brazilian Journal Food Technology**, v. 18, n. 4, p. 277-284, 2015.
- TELES, A. S. C.; CHÁVEZ, D. W. H.; GOMES, F. S.; CABRAL, L. M. C.; TONON, R. V. Efeito da temperatura na degradação de compostos bioativos do bagaço de uva Pinot Noir durante a secagem. **Revista Brasileira de Tecnologia de Alimentos**, v. 21, e2017059, p. 1-8, 2017.
- TORRES, M. D.; SEIJO, J. Water sorption behaviour of by-products from the rice industry. **Industrial Crops and Products**, v. 86, n. 1, p. 273-278, 2016.
- WATERHOUSE, A. Folin-ciocalteau micro method for total phenol in wine. **American Journal of Enology and Viticulture**, p. 3-5, 2006.
- XU, M.; SHEN, C.; ZHENG, H.; XU, Y.; XUE, C.; ZHU, B.; HU, J. Metabolomic analysis of acerola cherry (*Malpighia emarginata*) fruit during ripening development via UPLC-Q-TOF and contribution to the antioxidant activity. **Food Research International**, v. 130, e108915, 2020.
- ZANATTA, C.L.; SCHLABITZ, C.; ETHUR, E.M. Avaliação físico-química e microbiológica de farinhas obtidas a partir de vegetais não conformes à comercialização. **Alimentos e Nutrição**, v.21, p. 459-468, 2010.
- ZHOU, P.; WANG, X.; LIU, P.; HUANG, J.; WANG, C.; PAN, M.; KUANG, Z. Enhanced phenolic compounds extraction from *Morus alba* L. leaves by deep eutectic solvents combined with ultrasonic-assisted extraction. **Industrial Crops and Products**, v. 120, p. 147-154, 2018.

ZOPELLARO, S. R.; SILVA, S. Z.; LOVATO, F. R. Compostos fenólicos totais e atividade antioxidante da farinha do resíduo da uva. **Journal of Health**, v.1, n.2, p.154, 2019.

## 5 - CONCLUSÕES GERAIS

Nas condições experimentais do presente estudo, os resultados obtidos permitiram concluir que:

As sementes de ata se destacam com maiores teores de açúcares totais e as sementes de graviola apresentam maior teor de amido, lipídios, proteínas, compostos fenólicos totais e ácido ascórbico. As farinhas de sementes de ata apresentaram maiores teores de proteínas, lipídios, compostos fenólicos e taninos; as farinhas de sementes de graviola contiveram maior quantidade de amido. A fluidez das farinhas avaliadas através do Fator de Hausner e do Índice de Carr foram melhores nas farinhas de sementes das duas espécies obtidas a 50 °C. A farinha de sementes de graviola apresentou maior molhabilidade e a farinha de sementes de ata, maior atividade de emulsão e capacidade de gelificação.

Os dois tipos de sementes apresentaram períodos à taxa de secagem decrescente indicando que a difusão é o mecanismo físico predominante na secagem, com tempos de secagem entre 600 e 790 min para a ata e entre 530 e 770 min para a graviola. Os modelos Logarítmico Exponencial e Exponencial de Dois Termos produziram os melhores ajustes aos dados das cinéticas de secagens das sementes de ata e graviola, respectivamente, com desempenho satisfatório também dos modelos Dois Termos, Page e Henderson e Pabis. Os valores da difusividade efetiva situaram-se entre  $0,85 \times 10^{-9}$  e  $2,00 \times 10^{-9}$  m<sup>2</sup>/s nas secagens das sementes de ata e entre  $1,4662 \times 10^{-9}$  e  $2,7080 \times 10^{-9}$  m<sup>2</sup>/s nas sementes de graviola, tendo a dependência com a temperatura bem descrita pela equação de Arrhenius, com energias de ativação de 39,41 kJ/mol nas sementes de ata e de 28,10 kJ/mol nas sementes de graviola. O coeficiente de transferência de massa e o número de Biot não demonstraram influência da temperatura de secagem. As propriedades termodinâmicas foram influenciadas pela temperatura de secagem, com reduções de entalpia e entropia e aumentos da energia livre de Gibbs.

As sementes de graviola têm maior massa do que as sementes de ata, bem como maiores circularidade e esfericidade, enquanto as sementes de ata apresentaram maiores massas real e específica. As isotermas de adsorção de água a 25 °C das farinhas de sementes de ata e graviola se classificam como do tipo II,. As farinhas obtidas a partir de temperaturas de secagem mais elevadas apresentaram teores de água de equilíbrio mais baixos para atividades de água similares. Dentre os modelos testados, os de Oswin, GAB e Peleg propiciaram bons ajustes com melhor desempenho de forma geral o do modelo de GAB.

A semente de ata mostrou consistentemente a maior atividade de eliminação dos radicais de DPPH• e ABTS•+. A farinha de semente de graviola apresentou maiores teores que a ata em 90% dos compostos encontrados, destaca-se também que a Quercetina-3-glicosídeo apresentou os maiores teores nas duas farinhas avaliadas. Na cinética de degradação de fenólicos, verificou-se que o modelo que apresentou os melhores ajustes com os maiores coeficientes de determinação ( $R^2$ ) foi o de ordem zero, também foi observado uma maior velocidade de reação na farinha de semente de graviola. Quanto aos parâmetros da equação de Arrhenius e o coeficiente de reação ( $Q_{10}$ ), a farinha de semente de graviola requereu maior energia de ativação para o processo de secagem. Na avaliação colorimétrica, a farinha de semente de ata e graviola situa-se na região do amarelo. Constata-se que a farinha da semente de ata, possui a cor mais intensa, quando comparada a farinha de graviola, pois apresenta maior valor de  $C^*$ . Quanto a quantificação de minerais, verificou que as farinhas obtidas através das sementes de ata, apresentaram uma maior quantidade de minerais quando comparada a farinha de semente de graviola. Para as isotermas de adsorção de água, tanto a farinha de ata quanto a farinha de graviola tiveram o modelo de GAB com o melhor ajuste dos dados, apresentado valores de  $R^2$  entre 0,9934 e 0,9996.

## 6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS (Introdução geral, Revisão bibliográfica e Material e métodos)

ABELAMA, V. D.; BEZERRA, P. Q. M.; MATOS, M. F. R. Aproveitamento da semente de jaca no Brasil: uma revisão integrativa sobre a utilização em preparações gastronômicas. **Revista de Comportamento, Cultura e Sociedade**, v. 5, n. 2, p. 23-34, 2017.

ALVES, V. M., AMORIM, KATIUCIA ALVES, ABREU, DANILO JOSE MACHADO, SANTOS SILVA, J., ASQUIERI, EDUARDO RAMIREZ, & DAMIANI, CLARISSA. Extração de taninos de farinha de semente de graviola por ultrassom. desafios - **Revista Interdisciplinar Da Universidade Federal Do Tocantins**, e. 6, p. 54-59. (2019).

ALYOUSEF, H.; AOUAINI, F.; YAHIA, M. B. New insights on physico-chemical investigation of water adsorption isotherm into seed of dates using statistical physics treatment: Pore size and energy distributions. **Journal of Molecular Liquids**. v. 298, p. 112041, 2020.

ANJOS, C. N.; BARROS, B. H. S.; SILVA, E. I. G.; LOUISE, M.; MENDES, M.; MESSIAS, C. M. B. O. Desenvolvimento e aceitação de pães sem glúten com farinhas de resíduos de abóbora (*Cucurbita moscha* TA). **Arquivos de Ciências da Saúde**, v. 24, n. 4, p. 58-62, 2017.

AOAC - Association of Official Analytical Chemists. **Official Methods of Analysis**. 18th ed, 3th Review, Washington: AOAC, 2010. 1094 p.

AZEREDO, H. M. C. **Fundamentos de estabilidade de alimentos**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2004. 195p.

AZIZ, N. A. A.; WONG, L. M.; BHAT, R.; CHENG, L. H. Evaluation of processed green and ripe mango peel and pulp flours (*Mangifera indica* var. Chokanan) in terms of chemical composition, antioxidant compounds and functional Properties. **Journal of Science Food of Agriculture**, v. 92, n. 92, p. 557–563, 2012.

Banco de alimentos e colheita urbana - **SESC-Mesa Brasil: aproveitamento integral dos alimentos**. Superchefs Gastronomia, SESC/DN, v. 45, Rio de Janeiro, 2003. Controle do desperdício na cozinha. Acesso em: 10 de agosto de 2020.

BARYEH, E.A. Physical properties of bambara groundnuts. **Journal of Food Engineering**. v. 47, n. 4, p. 321–326. 2001.

BENASSI, M. T.; ANTUNES, A. J. A comparison of metaphosphoric and oxalic acids as extractant solutions for the determination of vitamin C in selected vegetables. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, v. 31, n. 4, p. 507-513, 1988.

- BEUCHAT, L. R. Functional and electrophoretic characteristic of succunylated peanut flour proteins. **Journal Agriculture Chemistry**, v. 25, n. 2, p. 258-260, 1997.
- BHUSARI, S. N.; MUZAFFAR, K.; KUMAR, P. Effect of carrier agents on physical and microstructural properties of spray dried tamarind pulp powder. **Powder Technology**, v. 266, n. 1, p. 354-364, 2014.
- BLIGH, E. G.; DYER, W. J. A rapid method of total lipid extraction and purification. **Canadian Journal of Biochemistry and Physiology**, v. 37, n. 8, p. 911-917, 1959.
- BORGES, S. V.; BONILHA, C. C.; MANCINI, M. C. Sementes de jaca (*Artocapus integrifolia*) e de abóbora (*Curcubita moschata*) desidratadas em diferentes temperaturas e utilizadas como ingredientes em biscoitos tipo cookie. **Alimentos e Nutrição**, v. 17, n. 3, p. 317-321, 2006.
- BRAGA SOBRINHO, R. Potencial de exploração de anonáceas no Nordeste do Brasil. In: SEMANA INTERNACIONAL DA FRUTICULTURA, FLORICULTURA E AGROINDÚSTRIA, 17., 2010, Fortaleza. **Anais...**, Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2010.
- CAI, Y. Z.; CORKE, H. Production and properties of spray-dried *Amaranthus* betacyanin pigments. **Journal of Food Science**, v. 65, n. 6, p. 1248-1252, 2000.
- CANO-CHAUCA, M.; STRINGHETA, P. C.; RAMOS, A. M.; CAL-VIDAL, C. Effect of the carriers on the microstructure of mango power obtained by spray drying and its functional characterization. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 6, n. 4, p. 420-428, 2005.
- CAPRISTE, G. H.; ROTSTEIN, E. Prediction of sorptional equilibrium data for starch-containing foodstuffs. **Journal of Food Science**, v. 47, n. 5, p. 1501-1507, 1982.
- CASARIN, F.; MENDES, C. E.; LOPES, T. J.; MOURA, N. F. Planejamento experimental do processo de secagem da amorapreta (*Rubus sp.*) para a produção de farinha enriquecida com compostos bioativos. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 19, p. e2016025, 2016.
- CASTRO, D. S. ; NUNES, J. S. ; SILVA, L. M. M. ; SOUSA, F. C. ; SILVA, W. P. ; GOMES, J. P. G. de . Secagem de polpa de *Annona Squamosa*: cinética e avaliação de modelos empíricos. **Magistra cruz das almas-ba**, v. 28, p. 294-300, 2016.
- CAVALCANTE, C, E. B.; RODRIGUES, S.; AFONSO, M. R. A.; COSTA, J. M. C.; Comportamento higroscópico da polpa de graviola em pó obtida por secagem em spray dryer. **Brazilian Journal of Food Technology**. Campinas, v. 21, e2017121, 2018.

- CHIELLE, D. P.; BERTUOLA, D. A.; MEILIB, L.; TANABE, E. H.; DOTTO, G. L. Convective drying of papaya seeds (*Carica papaya* L.) and optimization of oil extraction. **Industrial Crops and Products**. v. 85 p. 221–228, 2016
- COSTA, L. M.; RESENDE, O.; OLIVEIRA, D. E. C.; SOUSA, K. A. Isotermas e calor isostérico de sementes de *Buchenavia capitata* (Vahl) Eichler. **Revista Ciência Agronômica**, v. 46, n. 3, p.516-523, 2015.
- CRUZ, L. S.; LIMA, R. Z.; ABREU, C. M. P.; CORRÊA, A. D.; PINTO, L. M. A. Caracterização física e química das frações do fruto *Atemoia* Gefner. **Ciência Rural**, v. 43, n. 12, p. 2280-2284, 2013.
- DAMIANI, C.; ALMEIDA, A. C. S.; FERREIRA, J.; ASQUIERI, E. R.; VILAS BOAS, E. V. B.; SILVA, F. A. Doces de corte formulados com casca manga. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, n. 3, p. 360-369, 2011.
- DERMESONLOUOGLOU, E.; CHALKIA, A.; TAOUKIS, P. Application of osmotic dehydration to improve the quality of dried goji berry. **Journal of Food Engineering**, v.232, p.36-43, 2018.
- DIBAGAR, N.; KOWALSKIB, S. J.; CHAYJANA, R. A.; FIGIEL, A.; Accelerated convective drying of sunflower seeds by high-power ultrasound: Experimental assessment and optimization approach. **Food and Bioproducts Processing** v. 1, p. 42–59, 2020.
- FERREIRA, J. P de L.; CASTRO, D. S de.; MOREIRA, I. dos S., SILVA, W. P. da.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. de.; QUEIROZ, A. J. de M. Convective drying kinetics of osmotically pretreated papaya cubes. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. 24, n. 3, p. 200-208, março, 2020.
- FERREIRA, M. S. L.; SANTOS, M. C. P.; MORO, T. M. A.; BASTO, G. J.; ANDRADE, R. M. S.; GONÇALVES, E. C. B. A. Formulation and characterization of functional foods based on fruit and vegetable residue flour. **Journal Food Science Technology**, v. 52, n. 2, p. 822–830, 2015.
- FREITAS, A. L. G. E. **Caracterização da produção e do mercado da graviola (*Annona muricata* L.) no estado da Bahia**. 2012. 108p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, 2012.
- FREUDIG, B.; HOGKAMP, S.; SCHUBERT, H. Dispersion of powders in liquids in a stirred vessel. **Chemical Engineering and Processing**, v. 38, n. 4-6, p. 525-532, 1999.
- GASPARIN, P. P.; CHRIST, D.; COELHO, S. R. M. Secagem de folhas *Mentha piperita* em leito fixo utilizando diferentes temperaturas e velocidades de ar. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 2, p. 242-250, 2017.

- GOLDSTEIN, J. L.; SWAIN, T. Changes in tannin in ripening fruits. **Phytochemistry**, v. 2, n. 4, p. 371-383, 1963.
- GONDIM, J. A. M.; MOURA, M. F. V.; DANTAS, A. S.; MEDEIROS, K. M. S. Composição centesimal e de minerais em cascas de frutas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 4, p. 825-827, 2005.
- GUIMARÃES, M. K. A.; FIGUEIREDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Cinética de secado de espuma de keitt mango pulp. **Revista Caatinga**, v. 30, n. 1, p. 172-180, 2017.
- GUSMÃO, R. P.; GUSMÃO, T. A. S.; MOURA, H. V.; DUARTE, M. E. M.; CAVALCANTI-MATA, M. E. R. M. Technological characterization of cookies made with different concentrations of mesquite flour during 120 days of storage. **Braz. J. Food Technol**, v. 21, n. 2, p. 17-16, 2018.
- HAMIZAH, S.; ROSLIDA, A. H.; FEZAH, O.; TAN, K. L.; TOR, Y, S.; TAN, C. I. O potencial químico preventivo das folhas de *Annona muricata* L. na papilomagenese cutânea induzida quimicamente em camundongos. **Pac. J. Asiático Câncer Prev**, v. 13, n. 2, p. 2533 – 2539, 2012.
- HAUSNER, H. H. Friction conditions in a mass of metal powder. **Powder Metall**, v. 3, n. 4, p. 7-13, 1967.
- IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo agropecuário**. Rio de Janeiro, 2017. 777p.
- INSTITUTO ADOLFO LUTZ (São Paulo). **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008. 1020 p.
- KARAM, M. C.; PETIT, J.; ZIMMER, D.; DJANTOU, E. B.; SCHER, J. Effects of drying and grinding in production of fruit and vegetable powders: A review. **Journal of Food Engineering**, v. 188, p. 32-49, 2016.
- KOBORI, C. N.; JORGE, N. Caracterização dos óleos de algumas sementes de frutas como aproveitamento de resíduos industriais. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 29, n. 5, p. 1008-1014, 2005.
- KOOCHEKI, A., RAZAVI, S.M.A., MILANI, E., MOGHADAM, T.M., ABEDINI, M., ALAMATIYAN, S., IZADKHAH, S. Physical properties of watermelon seed as a function of moisture content and variety. **International Agrophys**. v. 21, n. 4, p.349-359, 2007.
- LAWAL, O. S.; ADEBOWALE, K. O. Physicochemical characteristics and thermal properties of chemically modified jack bean (*Canavalia ensiformes*) starch. **Carbohydrate Polymers**, v. 60, n. 3, p. 331-341, 2005.

- LEMOS, E. E. P. A produção de anonáceas no Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 36, n. 1, p. 77-85, 2014.
- LEMOS, E. E. P. The production of annona fruits in Brazil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 36, n.3, 2014.
- LUNA, A. F.; FREITAS, T. M. B.; ALVES, I. C.; SILVA, J. N.; LUZ, E. W. M. Potencial antioxidante da polpa industrializada e polpa in natura da *Annona muricata* L. a partir do método DPPH. In: Congresso de pesquisa e inovação da rede norte nordeste de educação tecnológica. Pará. **Anais...Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará**, 2009.
- MACIEL, A. G. S. ; RODRIGUES, J. S. ; TRINDADE, R. C. P. ; SILVA, E. S. ; SANTANA, A. E. G. ; LEMOS, E. E. P. . Effect of *Annona muricata* L. (1753) (Annonaceae) seeds extracts on *Tetranychus urticae*. **African Journal of Agricultural Research**, v. 10, p. 4370-4375, 2015.
- MANSOURI, A.; MIRZABE, A. H.; RÁUFI, A. Physical properties and mathematical modeling of melon (*Cucumis melo* L.) seeds and kernels. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**. v. 16, n. 3, 218-226, 2017.
- MENDONÇA, A. P.; SAMPAIO, P. de T. B.; ALMEIDA, F. de A. C.; FERREIRA, R. F.; NOVAIS, J. M. Determinação das curvas de secagem das sementes de andiroba em secador solar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.19, n.4, p.382–387, 2015.
- MOHSENIN, N.N. Physical properties of plant and animal materials, New York: **Gordon and Breach Science Publishers**, v. 67, n. 4, p. 734, 1978.
- MORA, C. F; KWAN, Sphericity, shape factor, and convexity measurement of coarse aggregate for concrete using digital image processing, **Cement and Concrete Research**, v. 30, n. 3, p. 351-358, 2000.
- MORAES, F. P.; COLLA, L. M. Alimentos funcionais e nutracêuticos: definições, legislação e benefícios à saúde. **Rev. Eletr. Farm.**, v.3, p.109-122, 2006.
- MORAES, F. P.; GONÇALVES, A. C.; VERÍSSIMO MIGUEL, T. B.; BORGES, K. C.; CORREIA, R. T. P. Freeze Dried Acerola (*Malpighia emarginata*) Pulp and Pomace: Physicochemical Attributes, Phytochemical Content and Stability during Storage. **Journal of Food Industry**, v. 1, p. 17-38, 2017.
- MOSCA, J. L.; CAVALCANTE C. E. B.; DANTAS, T. M. **Características botânicas das principais anonáceas e aspectos fisiológicos de maturação**. Fortaleza: EMBRAPA AGROINDÚSTRIA TROPICAL, 2006.

- NASCIMENTO, A. P. S.; LIMA, A. K. S.; CAVALCANTI, C. F.; GUSMÃO, R. P. Cinética de secagem de vagens de algaroba (*Prosopis juliflora* SW). **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.10, n. 5, p. 115-119, 2015.
- NASCIMENTO, V. R. G.; BIAGI, J. D.; OLIVEIRA, R. A. Modelagem matemática da secagem convectiva com radiação infravermelha de grãos de Moringa oleifera. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.7, p.686–692, 2015.
- NOGUEIRA, E. A.; MELLO, N. T. C.; MAIA, M. L. Produção e comercialização de anonáceas em São Paulo e Brasil. **Informações Econômicas**, v.35, n.2, p. 21-33, 2005.
- OLIVEIRA, C. C. **Estudos toxicológicos pré-clínicos e antitumorais extrato acetônico das folhas de *Annona muricata* L.** 2012, 147p. Tese (Doutorado em Farmacologia). Universidade Federal do Ceará. 2012.
- OLIVEIRA, D. E. C.; RESENDE, O.; CAMPOS, R. C.; DONADON, J. R. Obtenção e modelagem das isotermas de dessecamento e do calor isostérico para sementes de arroz em casca. **Científica**, v. 42, n. 3, p. 203-210, 2014.
- PACHECO-ÂNGULO, H.; HERMAN-LARA, E.; GARCIA-ALVARADO, M. A.; RUIZ-LÓPEZ, I. I. Mass transfer modeling in osmotic dehydration: Equilibrium characteristics and process dynamics under variable solution concentration and convective boundary. **Food and Bioproducts Processing**. v. 97, p. 88-89, 2016.
- PADILHA, C. V. S. ; MISKINIS, G. A. ; SOUZA, M. E. A. O. ; PEREIRA, Giuliano E.; OLIVEIRA, D. ; BORDIGNON-LUIZ, M. T. ; LIMA, MARCOS DOS SANTOS . Rapid determination of flavonoids and phenolic acids in grape juices and wines by RP-HPLC/DAD: Method validation and characterization of commercial products of the new Brazilian varieties of grape. **Food Chemistry**, v. 228, p. 106-115, 2017.
- PARK, K. J. B.; PARK, K. J.; CORNEJO, F. E. P.; FABBRO, I. M. D. Considerações termodinâmicas das isotermas. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.10, n. 3, p.83-94, 2008.
- PEREIRA, M. C. T.; BRAZ, L. C.; NIETSCHE, S.; DA MOTA, W. F. Determining the harvesting maturity of the sugar apple fruits on northern. Minas Gerais. **Acta Horticulturae**, v. 864, n. 2, p. 207-214, 2010.
- PINHEIRO, G. K. I.; OLIVEIRA DANIEL, E. C. DE.; JUNIOR, W. N. F.; RESENDE, O. Drying kinetics of yellow mombin (*Spondias mombin* L.) epicarp. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.24, n.2, p.121-127, 2020

- PINTO, S. M.; MOREIRA, I. s. Formas de uso da radiação para conservação dos alimentos: uma abordagem bibliográfica. **Journal of Biology & Pharmacy and Agricultural**. v. 14., n. 2, p. 131 -137, abril/junho 2018.
- PRETTE, A. P.; ALMEIDA, F. A. C.; VILLA-VELÉZ, H. A.; ROMERO, J. T. Thermodynamic properties of water sorption of jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) as a function of moisture content. **Food Science and Technology**, v. 33, n. 1, p. 199-208, 2013
- QUEQUETO, W. D.; SIQUEIRA, V. C.; SCHOENINGER V.; MARTINS, E, A. S.; ISQUIERDO, S. P.; SILVA, F. P. Physical properties of buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) grains during convective drying. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 11, p. 793-798, Campina Grande, novembro, 2018.
- RESENDE, J. T. V.; THAYS SILVA; NOVELO, D; RESENDE, N. C. V.; SANTOS, L. S.; LIMA, D. P.; SCHWARZ, K. Caracterização química de morangos orgânicos congelados e embalados em alumínio. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 5, e73953115, P. 1-20, 2020.
- RESENDE, O.; CORRÊA, P. C.; GONELI, A. L. D.; MARTINAZZO, A. P.; RIBEIRO, R. M. Isotermas e calor isostérico de dessorção do arroz em casca. **Revista Brasileira de Armazenamento**, v. 31, n.1, p. 86-94, 2006.
- RESENDE, O.; ULLMANN, R.; SIQUEIRA, V. C.; CHAVES, T. H.; FERREIRA, L. U. Modelagem matemática e difusividade efetiva das sementes de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) durante a secagem. **Engenharia Agrícola**, v.31, n.6, p.1123-1135, 2011.
- RODRIGUES, J. P. M.; CALIARI, M.; ASQUIERI, E. R. Caracterização e análise sensorial de biscoitos de polvilho elaborados com diferentes níveis de farelo de mandioca. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 12, p. 2196-2202, 2011.
- RORIZ, R. F. C. **Aproveitamento dos resíduos alimentícios obtidos das centrais de abastecimento do estado de Goiás S/A para alimentação humana**. 2012, 162p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2012.
- RUFINO, M. S. M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S.; MORAIS, S. M.; SAMPAIO, C. G.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F. D. Metodologia científica: determinação da atividade antioxidante total em frutas pelo método de redução do ferro (FRAP). **Comunicado técnico - Embrapa Agroindústria Tropical**, v. 125, p. 1-4, 2006.
- RUFINO, M. S. M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S.; MORAIS, S. M.; SAMPAIO, C. G.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F. D. Determinação da atividade antioxidante

- total em frutas pela captura do radical livre DPPH. **Comunicado Técnico – Embrapa Agroindústria Tropical**, v. 127, p. 1-4, 2007.
- SAAVEDRA, J.; CORDOVA, A.; NAVARRO, R.; DÍAZ-CALDERON, P.; FUENTEALBA, C.; ASTUDILLO-CASTRO, C.; TOLEDO, L.; ENRIONE, J.; GALVEZ, L. Industrial avocado waste: Functional compounds preservation by convective drying process. **Journal of Food Engineering**. v. 198, p. 81-90, 2017.
- SANTHALAKSHMY, S.; BOSCO, S. J. D.; FRANCIS, S.; SABEENA, M. Effect of inlet temperature on physicochemical properties of spray-dried jamun fruit juice powder. **Powder Technology**, v. 274, p. 37-43, 2015.
- SANTOS, D. C.; COSTA, T. N.; FRANCO, F. B.; CASTRO, R. C.; FERREIRA, J. P. L.; SOUZA, M. A. S.; SANTOS, J. C. P. Drying kinetics and thermodynamic properties of patawa pulp (*Oenocarpus bataua* Mart.). **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 22, p. 1-11, 2019.
- SÃO JOSÉ, A. R.; PRADO, N. B.; BOMFIM, M. P.; REBOUÇAS, T. N. H.; MENDES, H. T. A. Marcha de absorção de nutrientes em anonáceas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 36, edição especial, e., p. 176-183, 2014.
- SARAVANANA, A.; KARISHMAA, S.; JEEVANANTHAMA, S.; JEYASRIA, S.; KIRUTHIKAA, A.R.; KUMARB, P. S.; YAASHIKAAB, P.R.; Optimization and modeling of reactive yellow adsorption by surface modified *Delonix regia* seed: Study of nonlinear isotherm and kinetic parameters. **Surfaces and Interfaces**. v. 20, p. 100520, 2020.
- SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 39, p. 3733-3740, 2016.
- SILVA, H. W.; COSTA, L. M.; RESENDE, O.; OLIVEIRA, D. E. C.; SOARES, R. S.; VALE, L. S. R. Higroscopicidade das sementes de pimenta (*Capsicum chinense* L.). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 8, p.780–784, 2015.
- SILVA, W. P.; PRECKER, J. W.; SILVA, C. M. D. P. S.; GOMES, J. P. Determination of effective diffusivity and convective mass transfer coefficient for cylindrical solids via analytical solution and inverse method: application to the drying of rough rice. **Journal of Food Engineering**, v. 98, n. 3, p. 302-308, 2010.
- SILVA, W. P.; SILVA, C. M. D. P. S. “Convective” software (2009), online, Disponível em: <<http://zeus.df.ufcg.edu.br/labfit/Convective.htm>>. Acesso em: 15 jul 2020.
- SILVEIRA, M. L. R.; SANTOS, C. O.; PENNA, N. G.; SAUTTER, C. K.; ROSA, C. S.; BERTAGNOLLI, S. M. M. Aproveitamento tecnológico das sementes de goiaba (*Psidium*

- guajava L.) como farinha na elaboração de biscoitos. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, v. 34, n. 2, p. 45-56, 2016.
- SOBRINHO, R. B. **Potencial de exploração de anonáceas no Nordeste do Brasil**. 17<sup>a</sup> Semana da Fruticultura, Floricultura e Agroindústria. Embrapa Agroindústria Tropical. Fortaleza-CE. 2010.
- SOUSA, M. S. B.; VIEIRA, L. M.; SILVA, M. J. M.; LIMA, A. Caracterização nutricional e compostos antioxidantes em resíduos de polpas de frutas tropicais. **Ciência e Agrotecnologia** v. 35, n. 3. Lavras, maio/junho 2011.
- SOUZA F. T. C.; SANTOS, E. R.; SILVA, J. da C.; VALENTIM, I. B.; RABELO, T. C. B.; ANDRADE, N. R. F. de.; SILVA, L. K. de S. Production of Nutritious Flour from Residue Custard Apple (*Annona squamosa* L.) for the Development of New Products. **Journal of Food Quality**. v. 1, p. 1-10, 2018.
- SOUZA, A. V.; BERTONI, B. W.; SILVA, C. C. M.; JORGE, C. R.; SALES, D.; CARMONA, F.; HONORATO, F.; ANGELUCCI, M.; BIANCHI, R. V.; ALVES, R. B. N.; CHIARATTI, T. M. *Annona muricata* L. In: Encontro de estudos avançados em plantas medicinais. Reserva ecocerrado Brasil, 2008, Minas Gerais. **Anais...Minas Gerais**, 2008.
- SOUZA, F. T. C.; RABÊLO, T. C. B.; DOS SANTOS, L. K. F.; DOS SANTOS, E. R.; DA SILVA, J. C. Prospecção científica e tecnológica referente à pinha (*Annona squamosa* L.). **Cadernos de Prospecção**, Salvador, v. 8, n. 4, p. 817-827. 2015.
- SPAGNOL, W. A.; JUNIOR, V. S.; FILHO, N. G. Redução de perdas nas cadeias de frutas e hortaliças pela análise da vida útil dinâmica. **Brazilian Journal of Food Technology**. v. 21, e2016070, Campinas, 2018.
- STEVENS, F. J.; CHAPMAN, R. A. The determination of starch in meat products with the anthrone reagent. **Journal of Association of Official Analytical Chemists**, v. 38, n. 2, p. 202-210, 1955.
- TAKEUCHI, K.P.; SABADINI, E.; CUNHA, R.L. Análise das propriedades mecânicas de cereais matinais com diferentes fontes de amido durante o processo de absorção de leite. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 1, p. 78-85, 2005.
- TONON, R. V.; BRABET, C.; HUBINGER, M. D. Aplicação da secagem por atomização para a obtenção de produtos funcionais com alto valor agregado a partir do açaí. **Inclusão Social**, v. 6, n. 2, p. 70-76, 2013.
- VIMERCATI, W. C.; MACEDO, L. M.; ARAÚJO, C. da S.; TEIXEIRA, L. J. Q.; SARAIVA, S. H.; Efeito da temperatura na cinética de secagem em leite de espuma e na

degradação de antocianina em morango. **Brazilian Journal of Food Technology**. v. 22, e2018221, Campinas, 2019.

WATERHOUSE, A. Folin-ciocalteau micro method for total phenol in wine. **American Journal of Enology and Viticulture**, p. 3-5, 2006.

YASUMATSU, K.; SAWADA, K.; MORITAKA, S.; MISAKI, M.; TODA, J.; WADA, T. Whipping and emulsifying properties of soy bean products. **Journal of Agriculture and Biological Chemistry**, v. 36, n. 5, p. 719-725, 1972.

YEMM, E.W.; WILLIS, A.J. The estimation of carbohydrates in plant extracts by anthrone. **Biochemical Journal**, v. 57, p. 508-515, 1954.