



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA QUÍMICA  
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA

ISABELA ALVES DOS SANTOS

DISSERTAÇÃO

**COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DA  
CASCA DO FRUTO DO MANDACARU (*Cereus jamacaru*) EM PÓ OBTIDO  
EM SECADOR DE LEITO FIXO**

Campina Grande -PB

2018

**ISABELA ALVES DOS SANTOS**

**COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DA  
CASCA DO FRUTO DO MANDACARU (*Cereus jamacaru*) EM PÓ OBTIDO  
EM SECADOR DE LEITO FIXO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Campina Grande como requisito parcial para obtenção de grau de Mestre em Engenharia Química.

**Orientador: Prof. Dr. José Nilton Silva**

Campina Grande -PB

2018

S237c

Santos, Isabela Alves dos.

Compostos fenólicos totais e atividade antioxidante da casca do fruto do mandacaru (*Cereus jamacaru*) em pó obtido em secador de leito fixo / Isabela Alves dos Santos. - Campina Grande-PB, 2018.

70 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia, 2018.

"Orientação: Prof. Dr. José Nilton Silva".

Referências.

1. Coeficiente de Difusão. 2. Energia de Ativação. 3. Geometria Esférica. 4. Modelos Empíricos. I. Silva, José Nilton. II. Título.

CDU 66.013:634.1(043)

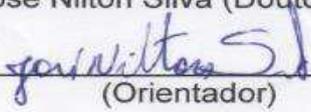
**ISABELA ALVES DOS SANTOS**

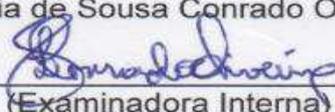
**COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DA  
CASCA DO FRUTO DO MANDACARU (*Cereus jamacaru*) EM PÓ OBTIDO  
EM SECADOR DE LEITO FIXO**

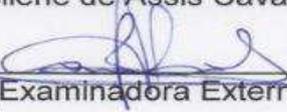
Data da defesa: \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / 2018

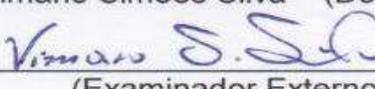
Resultado: \_\_\_\_\_

**BANCA EXAMINADORA**

Prof. José Nilton Silva (Doutor)  
  
\_\_\_\_\_  
(Orientador)

Profª. Líbia de Sousa Conrado Oliveira (Doutora)  
  
\_\_\_\_\_  
(Examinadora Interna)

Profª. Josilene de Assis Cavalcante (Doutora)  
  
\_\_\_\_\_  
(Examinadora Externa)

Prof. Vimário Simões Silva (Doutor)  
  
\_\_\_\_\_  
(Examinador Externo)

Campina Grande -PB

2018

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, Isaac e Conceição, meus irmãos, Isadora, Isaac Júnior e José Igor. Amor e gratidão pelo incentivo e apoio na realização dos meus sonhos e por toda confiança em mim depositada.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por seu Amor incondicional e generoso, por abrir as portas e me mostrar o caminho, e por agir grandiosamente em minha vida.

A minha mãe, Conceição, pelas orações incessantes e pelo colo em tempos de insegurança e incertezas. Ao meu pai, Isaac, o grande exemplo de moral e ética que eu tenho dentro de casa. A vocês, meus pais amados, todo o meu amor e eterno agradecimento. Amo vocês!

Aos meus amados irmãos, Isadora, Isaac Júnior e José Igor, presentes de Deus, agradeço pelo forte laço de amor que nós construímos. Vocês são meu porto seguro, e sei que tenho sempre pra onde voltar e a quem recorrer. Um agradecimento especial a Isaac Júnior e José Igor pelas inúmeras caronas a UFCG e por estarem comigo nas madrugadas passadas no laboratório.

À professora Líbia Conrado, meu mais sincero agradecimento! Não tenho palavras para descrever tamanha generosidade que teve comigo. É um privilégio poder ter uma pessoa tão acolhedora e tão especial perto de mim. Ela que me deu coragem de enfrentar esta jornada, sempre com conselhos tão preciosos e cheios de amor. Obrigada por acreditar que eu conseguiria, isso me deu força, força esta que nem eu sabia que tinha. Gratidão!

Ao meu orientador Dr. José Nilton Silva pela orientação e oportunidade. A disponibilidade que sempre manifestou e a empatia com que recebeu as minhas ideias e a paciência que teve comigo ao longo dessa jornada! Muito obrigada!

Meu agradecimento a Tamires e Raphael, pessoas fundamentais para que eu conseguisse realizar este trabalho. Meu caminho ter cruzado com o de vocês só me leva a ter a certeza do amor de Deus por mim. Não é todo mundo que se dispõem a ajudar alguém, da forma que vocês me auxiliaram, sem nem ao menos conhecer! Sei que nossa amizade está apenas começando! São nos momentos difíceis que reconhecemos os verdadeiros amigos! Muito obrigada, meninos!

Aos meus queridos amigos, Alain, Bárbara, Everton, Letícia, Marcos, Raíssa, Ravena e Renan. Obrigada pelas palavras nos momentos de incerteza e por serem tão compreensíveis quando eu precisei estar mais ausente.

Aos amigos do Laboratório de Engenharia Bioquímica da UFCG! Obrigada por sempre me acolherem tão bem, vocês são como uma família pra mim! Obrigada por toda ajuda durante a realização dos experimentos e pela troca de experiência ao longo deste trabalho. Obrigada por tudo e por tanto

À querida professora Josilene que abriu as portas do seu laboratório para mim e por se fazer presente na minha banca! Foi um prazer conhecer a senhora nessa jornada!

Aos professores Severino e Vimário que contribuíram grandemente com este trabalho.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da UFCG pela oportunidade concedida.

A Capes pelo apoio à pesquisa e incentivo financeiro.

Enfim, a todas as pessoas que se mostraram amigas e contribuíram de forma direta ou indireta para o desenvolvimento deste trabalho, meu muito obrigada!

“Só se cresce experimentando o limite que decorre em sofrimento, e de que ninguém é isento. Só se ganha-se força a partir das quedas, mas a cada uma delas há de se corresponder um soerguimento. Vive a beleza deste momento, não penses em desistir. Se o melhor da vida é viver, hoje poderá ser o primeiro dia do resto de tua vida da melhor parte que já começa agora e aqui.”  
(Padre Airton Freire)

## RESUMO

O mandacaru (*Cereus jamacaru*) é uma planta nativa do Brasil, presente em grande quantidade no Nordeste do país. Seus frutos são fontes de fitonutrientes importantes para a saúde, apresentando um alto teor de compostos fenólicos e uma elevada atividade antioxidante, com destaque para a casca deste fruto, que apresenta uma quantidade desses compostos superior a polpa. Sendo seu fruto perecível, com vida útil curta, é relevante demonstrar vantagens existentes no desenvolvimento de alternativas para minimizar seu desperdício, sendo a secagem uma opção a ser empregada na conservação desses frutos. Desta forma, este trabalho teve por objetivo avaliar o efeito da secagem em diferentes temperaturas sobre o teor de compostos fenólicos totais, sua atividade antioxidante, bem como as características físico-químicas da casca do fruto do mandacaru. A secagem foi realizada nas temperaturas de 50°C, 60°C e 70 ° C, com uma velocidade do ar de 1,2 m/s em secador de leito fixo em camada fina. As análises foram feitas tanto para o material *in natura* como para o pó obtido após a secagem. Os resultados obtidos revelaram que houve uma concentração de todos os nutrientes avaliados após o processo de secagem, principalmente na manutenção dos fenólicos totais e da atividade antioxidante pelo método do radical ABTS. As curvas da cinética de secagem foram representadas pelos modelos empíricos de Page e Henderson & Pabis, ajustando-se bem aos dados experimentais, com coeficientes de correlação na faixa de 0,95 a 0,99. Para o modelo de difusão aplicado a uma geometria esférica foram obtidos valores para o coeficiente de difusividade de  $9,17 \times 10^{-11}$ ,  $1,42 \times 10^{-10}$  e  $2,39 \times 10^{-10}$  m<sup>2</sup>/s para as temperaturas de 50, 60 e 70°C, respectivamente. A relação entre o coeficiente de difusão efetivo e a temperatura de secagem foi descrita pela Equação de Arrhenius, apresentando uma energia de ativação para a difusão líquida na secagem de 44,05 KJ/mol.

**Palavras chaves:** Coeficiente de difusão, energia de ativação, geometria esférica, modelos empíricos.

## ABSTRACT

Mandacaru (*Cereus jamacaru*) is a native Brazilian plant, which is present in a large quantity in the northeastern region of the same country. Their fruits are sources of phytonutrients which are very important for health, because they contain a high phenolic content and a high antioxidant activity, especially in the peel, which contains more quantity of these compounds than the pulp. Once its fruit is perishable, with a short lifespan, it is relevant to demonstrate existing advantages in the development of alternatives to minimize its waste, being drying an option to be used in the conservation of these fruits. Thus, the objective of this work was to evaluate the effect of drying at different temperatures on the content of phenolic compounds, their antioxidant activity, as well as the physico-chemical characteristics of the mandacaru fruit peel. The drying was carried out at temperatures of 50 ° C, 60 ° C and 70 ° C, with a 1.2 m/s air velocity in a fixed thin bed dryer. The analyzes were done for both the natural material and the powder obtained after drying, mainly in the maintenance of total phenolics and antioxidant activity. The results showed there was a concentration of all nutrients evaluated after the drying process. The drying kinetics curves were represented by the empirical Page and Henderson & Pabis models, adjusting well to the experimental data, with correlation coefficients close to 1. For the diffusion model applied to a spherical geometry, values for the diffusivity coefficient of  $9.17 \times 10^{-11}$ ,  $1.42 \times 10^{-10}$  and  $2.39 \times 10^{-10}$  m<sup>2</sup>/s were obtained for temperatures of 50, 60 and 70 ° C, respectively. The relationship between the effective diffusion coefficient and the drying temperature can be described by the Arrhenius equation, showing activation energy for the liquid diffusion on drying of 44.05 KJ / mol.

**Keywords:** Diffusion Coefficient, Activation Energy, Spherical Geometry, Empirical Models

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Pé de Mandacaru ( <i>Cereus jamacaru</i> ) .....	20
Figura 2. Fruto do Mandacaru .....	20
Figura 3. Classificação do metabolismo em células vegetais .....	23
Figura 4. Curva típica da cinética de secagem.....	26
Figura 5. Curva de secagem com relação a taxa de secagem.....	27
Figura 6. Casca e polpa do fruto do mandacaru, respectivamente. ....	34
Figura 7 - Cubos das cascas do fruto do mandacaru: (a) cortador utilizado (b) cascas com geometria cúbica. ....	35
Figura 8. Secador de Leito Fixo .....	41
Figura 9. Farinha da casca do fruto do mandacaru na Temperatura de 50, 60 e 70°C, respectivamente .....	42
Figura 10. Cinética de secagem para T= 50°C, T=60°C e T=70°C. ....	46
Figura 11. Cinética de secagem para T= 50°C e o ajuste com o modelo de Page.....	48
Figura 12. Cinética de secagem para T= 60°C e o ajuste com o modelo de Page.....	48
Figura 13. Cinética de secagem para T= 70°C e o ajuste com o modelo de Page.....	49
Figura 14. Cinética de secagem para T= 50°C e o ajuste com o modelo de Henderson & Pabis .....	50
Figura 15. Cinética de secagem para T= 60°C e o ajuste com o modelo de Henderson & Pabis .....	50
Figura 16. Cinética de secagem para T= 70°C e o ajuste com o modelo de Henderson & Pabis .....	51
Figura 17. Modelo difusional para T=50°C .....	53
Figura 18. Modelo difusional para T=60°C .....	53
Figura 19. Modelo difusional para T=70°C .....	54
Figura 20. Representação de Arrhenius para o coeficiente de difusão efetivo em função da temperatura (50, 60 e 70 °C) .....	55

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Biomas do Brasil.....	19
Tabela 2. Caracterização físico-química da polpa e da casca do fruto do mandacaru .....	21
Tabela 3. Composição centesimal aproximada (g/100g) e o valor calórico total (kcal/100g) das sementes do fruto do mandacaru .....	22
Tabela 4. Alterações durante a secagem.....	28
Tabela 5. Modelos matemáticos empíricos utilizados para descrever o processo de secagem.....	32
Tabela 6. Caracterização da casca do fruto do mandacaru <i>in natura</i> .....	43
Tabela 7. Estimativa dos Parâmetros para o Modelo de Page.....	49
Tabela 8. Estimativa dos Parâmetros para o Modelo de Henderson & Pabis ..	51
Tabela 9. Coeficiente de difusividade efetiva (Def) .....	52
Tabela 10. Caracterização da casca do fruto do mandacaru após secagem. ...	56

## LISTA DE SIGLAS

- ATT- acidez total titulável (gramas de ácido cítrico orgânico %)
- ATT - acidez (gramas de ácido cítrico orgânico %)
- AR- Açúcar Redutor
- ABTS – 2,2'-AZINO-BIS (3-ethylbenzo-thiazoline-6-sulfonic acid) diammoninum salt
- a-Constante da Equação do Modelo Empírico usado na secagem
- °Brix – Sólidos Solúveis Totais
- CFT- Compostos Fenólicos Totais
- CCT- Centro de Ciências e Tecnologia
- Def- Coeficiente de Difusividade Efetivo
- DNS- Ácido 3,5- Dinitrosalicílico
- exp- Exponencial
- EAG- Equivalente Ácido Gálico
- f - fator de correção da solução de hidróxido de sódio;
- FC - Fator de correção
- IC – intermediário casca
- ICH - intermediário casca hidroresfriado
- ICT - intermediário casca testemunha
- IP – intermediário polpa
- k- Constante de Secagem
- M - molaridade da solução de hidróxido de sódio;
- $m_A$  = massa da amostra
- $m_{Af}$  = massa final da amostra
- $m_R$  = massa do recipiente
- $m_{RAC}$  = massa do conjunto recipiente (MR)/amostra calcinada (AC)
- MC - maduro casca
- MCH - maduro casca hidroresfriado
- MCT - maduro casca testemunha
- MP - maduro polpa
- MPH - maduro polpa hidroresfriado
- MPT - maduro polpa testemunha
- n - número de hidrogênio ionizáveis.

P - massa da amostra em gramas

PET – Polifenóis Extraveis Total

pH – Potencial Hidrogeniônico

PM - peso molecular do ácido cítrico

RU - Razão de Umidade

SS - Sólidos Solúveis

SS/AT - Relação Sólidos Solúveis/Acidez

R<sup>2</sup> - Coeficientes de correlação

RMSE - raiz quadrada da média dos desvios

SSE - soma dos quadrados dos desvios

T – Temperatura

t - tempo

X - umidade média do sólido no instante t, em base seca

X<sub>e</sub>- umidade de equilíbrio

X<sub>0</sub> - umidade inicial

# SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>17</b>
1.1    Objetivos.....	18
1.1.1    Objetivo geral .....	18
1.1.2    Objetivos específicos .....	18
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>19</b>
2.2    Compostos Fenólicos .....	22
2.3    Atividade Antioxidante .....	24
2.4    Secagem .....	25
2.4.1    Alterações provocadas pela secagem .....	28
2.4.2    Modelos matemáticos para a secagem.....	29
2.5    Estado da arte .....	32
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>34</b>
3.1    Matéria-prima.....	34
3.2    Caracterização da casca do fruto do mandacaru, in natura .....	35
3.2.1    Teor de Água .....	35
3.2.2    Cinzas .....	36
3.2.3    Potencial Hidrogeniônico (pH).....	37
3.2.4    Determinação de sólidos solúveis totais (°Brix) .....	37
3.2.5    Açúcar Redutor .....	37
3.2.6    Atividade de Água .....	38
3.2.7    Acidez Total Titulável .....	38
3.2.8    Compostos Fenólicos Totais .....	39
3.2.8.1    Preparo do extrato da amostra.....	39
3.2.8.2    Determinação de compostos fenólicos.....	39
3.2.9    Atividade Antioxidante pelo método ABTS.....	40
3.2.9.1    Preparo do Radical ABTS .....	40

3.3	Secagem da casca do fruto do mandacaru .....	40
3.4	Caracterização da casca do fruto do mandacaru em pó .....	42
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>43</b>
4.1	Caracterização da casca do fruto do mandacaru <i>in natura</i> .....	43
4.2	Cinética de secagem para as temperaturas de 50, 60 e 70°C .....	46
4.3	Modelos matemáticos.....	47
4.3.1	Ajustes das Curvas de Cinética de secagem usando modelos empíricos ....	47
4.3.2	Difusão líquida baseada na segunda Lei de Fick.....	52
4.4	Caracterização da casca do fruto do mandacaru após secagem .....	55
<b>5.</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>59</b>
<b>6.</b>	<b>SUGESTÕES.....</b>	<b>60</b>
<b>7.</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>61</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O *Cereus jamacaru*, conhecido popularmente como o mandacaru do nordeste brasileiro, é uma cactácea nativa do Brasil, com grande capacidade de captação e retenção de água, o que proporciona sua sobrevivência em longos períodos de estiagem (TAYLOR et al., 2004).

Ainda são poucos os estudos na literatura sobre os frutos desta planta, apesar de serem encontrados em grandes quantidades de fevereiro a setembro, nos estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia e norte de Minas Gerais, não sendo tão explorado comercialmente.

Esses frutos apresentam um alto teor de compostos fenólicos em todos os estádios de maturação e uma elevada atividade antioxidante total, justificando assim o seu consumo, além de servir como estímulo ao seu melhor aproveitamento (Melo et al., 2017). E segundo Calado et al. (2016) a casca deste fruto apresenta uma quantidade de compostos fenólicos superior a polpa.

Os compostos fenólicos têm se tornado cada vez mais evidentes devido aos efeitos benéficos à saúde por sua atividade antioxidante, e por serem responsáveis por possíveis ações farmacológicas (ANTOLOVICH et al., 2002).

Sendo o fruto do mandacaru, perecível, frágil, com vida útil curta, representando um obstáculo para sua comercialização *in natura*, recomenda-se que seja submetido a um processamento para que possa atingir mercados consumidores mais distantes e fornecer seus produtos o ano todo. O processamento, além de agregar valor, aumenta sua vida útil, pode facilitar o transporte e o desenvolvimento de novos produtos. É diante deste cenário que a secagem surge como alternativa a ser empregada na conservação dos frutos do mandacaru (OLIVEIRA et al., 2015).

Na secagem ocorre a redução do teor de água do fruto, atuando regressivamente na ação das enzimas, possibilitando a conservação do fruto por maior tempo. Com a redução da quantidade de água, aumenta-se, também, a quantidade de princípios ativos em relação à massa seca, podendo agregar valor econômico para a indústria de alimentos servindo como

ingrediente de novas formulações de alimentos mais nutritivos (SCHISHIR e CHEN, 2017)

Ante o exposto, o presente trabalho tem como objetivos:

## 1.1 Objetivos

### 1.1.1 Objetivo geral

Avaliação do efeito das temperaturas de secagem sobre compostos bioativos (compostos fenólicos totais e atividade antioxidante) e características físico-químicas da casca do fruto do mandacaru.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- Caracterizar a casca do fruto do mandacaru *in natura* por meio das análises de teor de água, cinzas, pH, acidez, brix, atividade de água, açúcares redutores, compostos fenólicos totais e atividade antioxidante frente ao radical ABTS;
- Realizar o estudo da cinética de secagem da casca do fruto do mandacaru, em leito fixo, camada delgada, nas temperaturas de 50, 60 e 70°C;
- Realizar o ajuste das curvas de secagem obtidas a partir de modelos matemáticos de Page, Henderson & Pabis e difusional placa plana;
- Caracterizar a casca do fruto do mandacaru seca por meio das análises de teor de água, cinzas, pH, acidez, brix, atividade de água, açúcares redutores, compostos fenólicos totais e atividade antioxidante frente ao radical ABTS;

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 O fruto do mandacaru

A caatinga, único bioma exclusivamente brasileiro, abriga uma grande variedade de espécies e constitui um tipo de vegetação adaptada à aridez do solo e a escassez de água da região.

De acordo com os dados do IBGE (2018), a caatinga apresenta uma área de aproximadamente 844.453 km<sup>2</sup>, correspondendo a cerca de 9,9% do território nacional, conforme se observa na Tabela 1.

Tabela 1. Biomas do Brasil

<b>Biomas Continentais Brasileiros</b>	<b>Área Aproximada (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área / Total Brasil (km<sup>2</sup>)</b>
Amazônia	4.196.943	49,3%
Cerrado	2.036.448	23,9%
Mata Atlântica	1.110.182	13,0%
Caatinga	844.453	9,9%
Pampa	176.496	2,1%
Pantanal	150.355	1,8%
Total Brasil	8.514.877	100%

Fonte: IBGE/MMA (2018)

Dependendo das condições naturais das áreas em que se encontram, apresentam diferentes características. Em condições de umidade do solo mais favoráveis, a caatinga se assemelha à mata, onde são encontradas árvores como o juazeiro, aroeira e a baraúna. Nas áreas mais secas, de solo raso e pedregoso, a caatinga se reduz a arbustos e plantas cactáceas, mais baixas, deixando o solo parcialmente descoberto

Dentre as plantas cactáceas, destaca-se o mandacaru, ilustrado na Figura 1. Esta planta apresenta uma estrutura resistente, adaptada às

condições áridas, com raízes profundas que garantem grande capacidade de captação de água, e seus espinhos são elementos de defesa frente aos animais herbívoros e à retenção de água.

Figura 1. Pé de Mandacaru (*Cereus jamacaru*)



Fonte: NUNES (2012)

As plantas desta espécie podem chegar a 10 metros de altura, dependendo do ambiente. Os frutos (Figura 2), nos quais se encontram inúmeras sementes de cor preta e bem pequenas, são elipsoides, de 05 cm a 12 cm de diâmetro, alaranjados ou vermelhos, com polpa mucilaginosa branca, de aroma suave, comestível e doce. Após o corte do fruto, a polpa se desprende por inteira da casca (MEIADO et al., 2010).

A importância de usufruir ao máximo a diversidade da fruticultura brasileira faz com que um maior número possível de frutas silvestres e nativas sejam avaliadas, nutricional e quimicamente.

Figura 2. Fruto do Mandacaru



Fonte: NUNES (2012)

Segundo Nascimento et al. (2011), a composição do fruto do mandacaru depende do estágio de maturação e das condições edafoclimáticas, entre outros fatores; possui proteínas (1,8-2,35%), lipídeos (1,08-1,98%), carboidratos (9,76-9,86%), minerais (0,43-0,64%), sólidos solúveis totais (10,3-12,03 °Brix), pH (4,4-4,93), ácidos orgânicos (0,26-0,32% ácido cítrico) e água (85,82-86,28%).

Silva et al. (2012) realizou a caracterização físico-química da casca e da polpa do fruto do mandacaru, separadamente. Os valores estão listados na Tabela 2.

Tabela 2. Caracterização físico-química da polpa e da casca do fruto do mandacaru

<b>Parâmetro</b>	<b>Polpa</b>	<b>Casca</b>
pH	4,09	4,54
Sólidos Solúveis Totais (°Brix)	10,13	1,96
Acidez total titulável (ácido cítrico)	0,05	0,33
Umidade (%)	82,3	94,2
Ácido ascórbico (mg/100g)	100	80
Açúcares Redutores (%glicose)	5,76	1,53
Cinzas	0,37	0,44

Fonte: SILVA et al, 2012

De acordo com Coelho et al. (2014), as sementes do fruto do mandacaru constituem uma significativa fonte de carboidratos e proteínas, com teores nutricionalmente interessantes para alimentação humana e animal. Na Tabela 3 é apresentada a composição centesimal aproximada (g/100g) e o valor calórico total (kcal/100g) das sementes do fruto do mandacaru.

Tabela 3. Composição centesimal aproximada (g/100g) e o valor calórico total (kcal/100g) das sementes do fruto do mandacaru

<b>Parâmetro</b>	<b>Valores Médios</b>
Umidade (%)	9,35
Resíduo Mineral Fixo (%)	2,35
Proteínas (N x 6,25) (%)	17,29
Lipídeos (%)	5,39
Carboidratos Totais (%)	65,51
Cinzas	0,49
Valor Calórico Total (kcal/100g)	380,16

Fonte: COELHO et al, 2004

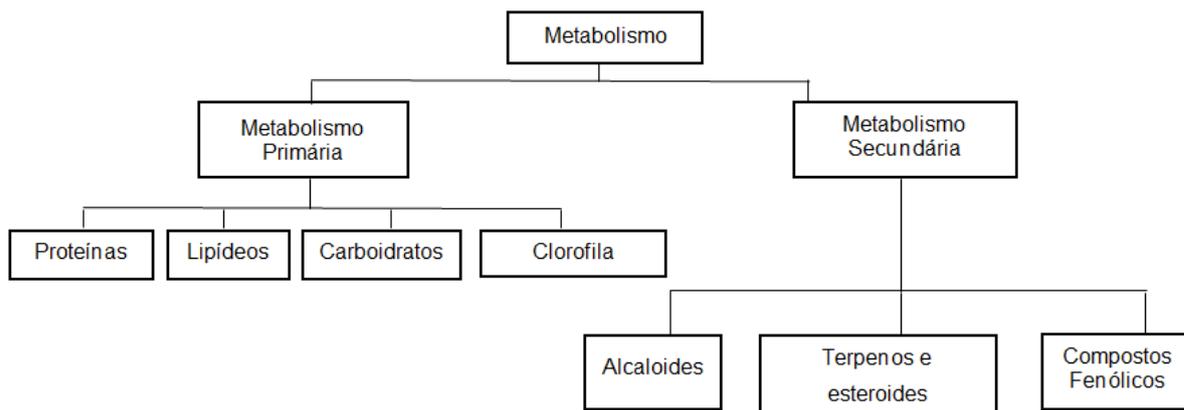
## 2.2 Compostos Fenólicos

Nas células vegetais, o metabolismo costuma ser dividido em primário e secundário. Entende-se por metabolismo primário o conjunto de processos metabólicos que desempenham uma função essencial no vegetal, e estão diretamente envolvidos nos processos de crescimento, desenvolvimento e reprodução. Os compostos envolvidos no metabolismo primário possuem uma distribuição universal nas plantas. Fazem parte destes compostos as proteínas, carboidratos, lipídeos e clorofila. O metabolismo secundário, embora nem sempre seja necessário para que uma planta complete seu ciclo de vida, desempenha um papel importante à sobrevivência das plantas, já que são produzidos compostos de sinal para atrair animais polinizadores e animais de dispersão de sementes; e também compostos antioxidantes, para proteção ultravioleta (MARTINS, PETROPOULOS e FERREIRA, 2016; SILVA et al., 2010; WINK, 2016).

Os metabólitos secundários são compostos biologicamente ativos, capazes de interferir a nível molecular no organismo. É devido a este fator que nos últimos anos, uma atenção crescente tem sido dedicada a ação

desses compostos, presentes em alimentos de origem vegetal na manutenção da saúde humana. Os três grupos de agentes fitoquímicos mais importantes são os terpenos (várias unidades de isopreno), os alcaloides (compostos nitrogenados heterocíclicos) e os compostos fenólicos, como pode ser observado na Figura 3.

Figura 3. Classificação do metabolismo em células vegetais



Fonte: MARTINS, PETROPOULOS e FERREIRA,(2016)

Os fenólicos são um grupo de compostos bastante presentes no dia, a dia, já que muito do sabor, odor e coloração de diversos vegetais são gerados por estes, podendo ser classificados em dois grupos: os flavonóides e não flavonóides. O grupo dos flavonóides é constituído por antocianinas e antoxitaninas e o grupo não flavonóides é formado por ácidos fenólicos e estilbenos (SILVA, 2014).

Pesquisas têm demonstrado que os compostos fenólicos apresentam grande interesse nutricional por contribuir com propriedades anticancerígenas, antioxidante, hipoglicêmico, efeitos cardioprotetores e vasodilatadores, hipolipídico e anti-inflamatório, já que estão relacionados com a capacidade antioxidativa. Variações de magnitude de compostos fenólicos têm sido conferidas a fatores como a forma de cultivo, tempo de colheita e tipo de solo (KALINOWSKA et al., 2014; ALU'DATT et al., 2017; BELMIRO, PEREIRA e PAIM, 2017; MAGALHÃES et al., 2017).

Sabendo que a prevenção é uma estratégia mais eficaz que o tratamento para doenças crônicas, é necessário fornecer um mecanismo de defesa que reduza o risco dessas doenças em seres humanos. Pode-se

apontar como alternativa o constante fornecimento de vegetais contendo fitoquímicos benéficos à saúde, além da nutrição básica (PÉREZ-JIMÉNEZ, 2008).

### 2.3 Atividade Antioxidante

Os antioxidantes têm despertado o interesse de pesquisadores em razão das descobertas da sua capacidade de inibição de espécies reativas, e a eficácia em diminuir ou retardar os danos oriundos de uma oxidação no metabolismo humano (TELES et al., 2014).

A oxidação é parte fundamental da vida aeróbica e do metabolismo humano, já que para manter o funcionamento do corpo é necessário que as células realizem a queima do oxigênio (utilizado para converter os nutrientes dos alimentos absorvidos em energia). Durante este processo de oxidação, as células do organismo acabam produzindo radicais livres, o que leva a concluir que esses radicais livres são produzidos naturalmente ou por alguma disfunção biológica (REZENDE, 2010).

Em níveis considerados normais, os radicais livres não são prejudiciais à saúde, entretanto, o excesso destas espécies pode contribuir para o surgimento de alguns problemas de saúde, tais como o enfraquecimento do sistema imunológico e o envelhecimento, bem como podem estar relacionados com várias patologias, tais como artrite, catarata, choque hemorrágico, problemas cardíacos, disfunções cognitivas e câncer, podendo ser a causa ou o fator agravante do quadro geral (BARREIROS, 2016). É neste contexto que os antioxidantes surgem como alternativa para combater o excesso de radicais livres produzidos pelo corpo ou absorvidos da dieta, prevenindo efeitos deletérios à saúde que contribuem para manter o equilíbrio entre a produção e a eliminação de espécies reativas de oxigênio e outros compostos relacionados, inibindo e reduzindo as lesões causadas pelos radicais livres nas células

Trabalhos relacionando atividade antioxidante de alimentos e substâncias isoladas de fontes naturais demonstram que o consumo de frutas, vegetais, vinhos e chás, está relacionado à redução de risco de câncer e doenças

cardiovasculares, assim como o retardo do envelhecimento das células (ESAN et al., 2017).

Outro interesse ligado aos antioxidantes é a aplicação na indústria, para a proteção de cosméticos, fármacos e alimentos, prevenindo a decomposição oxidativa desses pela ação da luz, temperatura e umidade (BARREIROS, 2006).

## 2.4 Secagem

A secagem, operação unitária utilizada para remoção de água ou outros solventes de uma matriz sólida por transferência de massa e calor, surge como uma alternativa para a redução do teor de água de um determinado material. Este processo é bastante utilizado pela indústria de alimentos com o intuito de assegurar a conservação do produto e de seu valor nutritivo. Se o produto for armazenado com umidade acima dos limites estabelecidos, podem ocorrer prejuízos por metabolismo do próprio alimento e pelo desenvolvimento de mofo, fermentos, bactérias, ácaros e insetos (HELLEVANG, 1994; ELIAS, 2002).

Com o objetivo de atingir mercados consumidores mais distantes e fornecer seus produtos o ano todo, a secagem em alimentos, além de agregar valor, aumenta sua vida útil, podendo facilitar o desenvolvimento de novos produtos e diminuir os seus custos de transporte e armazenamento, já que a massa e o volume de alimento desidratados são menores (OLIVEIRA, 2015).

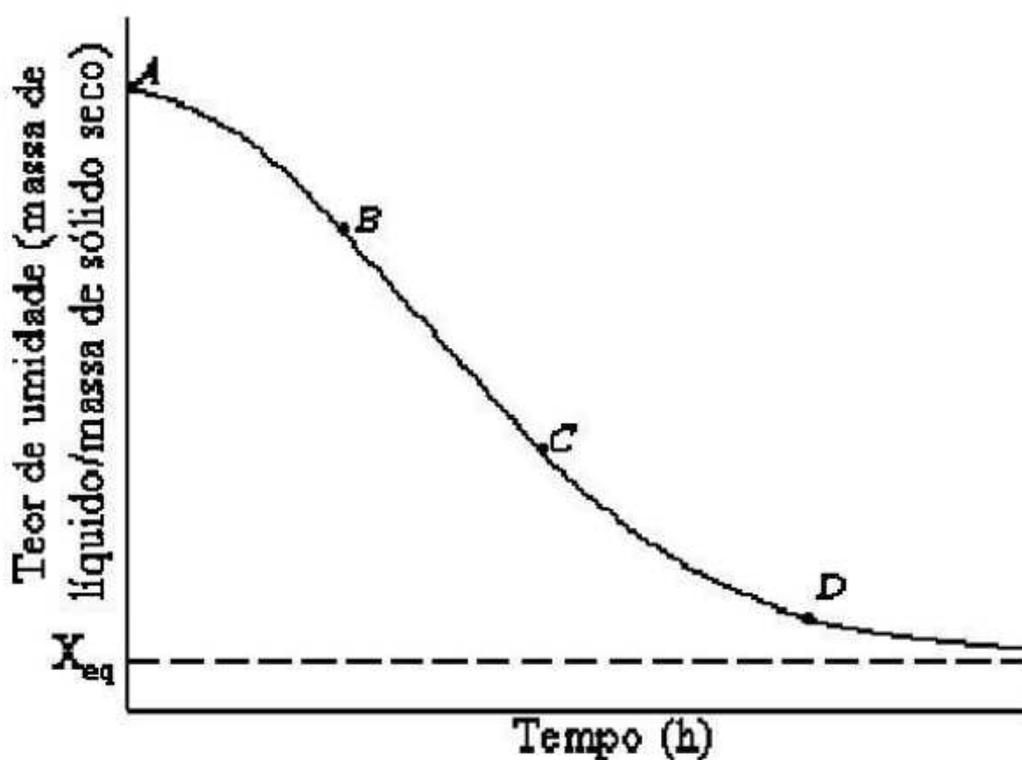
No processo de secagem há a redução da água livre do alimento, o que eleva a pressão osmótica de seu meio e conseqüentemente, a proliferação de microrganismos é contida; também nessa situação, enzimas que provocam alterações perdem sua atividade (EVANGELISTA, 2005).

Outro ponto importante e que merece destaque na secagem é a umidade de equilíbrio, uma vez que representa o valor limite para uma dada condição de umidade relativa e temperatura, sendo a mesma verificada quando a pressão de vapor de água em sua superfície se iguala a pressão de vapor de água no ar que o envolve (TREYBAL, 1968).

A secagem de alimentos de origem vegetal e animal, quanto à sua operação, efetua-se por dois tipos: secagem natural e secagem artificial (EVANGELISTA, 2005).

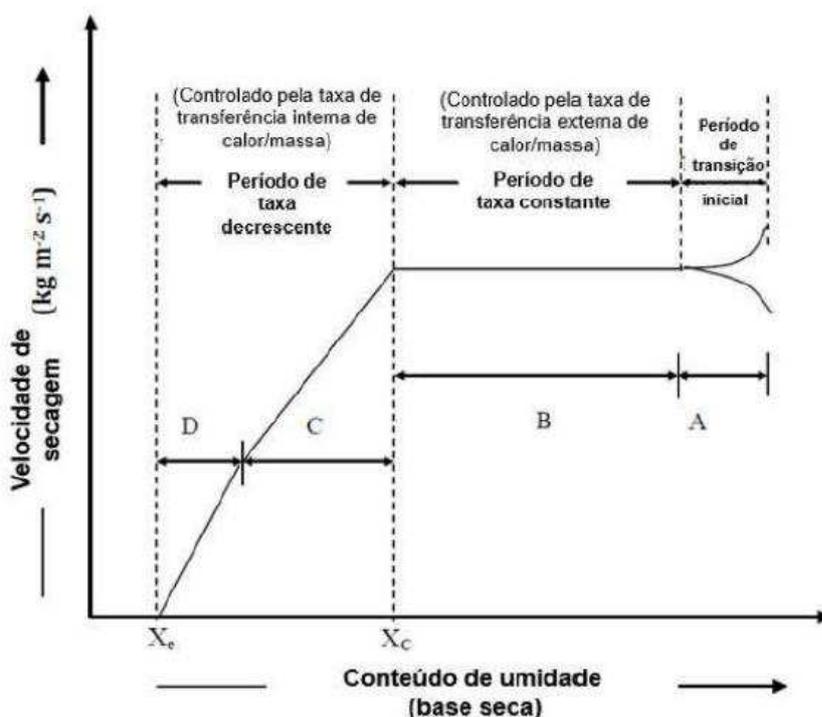
O processo de secagem pode ser representado pela cinética de secagem (Figuras 4) e pela taxa de secagem (Figura 5). A cinética de secagem relaciona as mudanças no teor de umidade (médio) do material e na sua temperatura ao longo do tempo do processo, enquanto a dinâmica de secagem descreve as mudanças na temperatura e umidade por todo o sólido durante a secagem.

Figura 4. Curva típica da cinética de secagem



Fonte: RICHARDSON et al. (2002)

Figura 5. Curva de secagem com relação a taxa de secagem.



Fonte: FRANCO (2015)

Em secagem com ar quente a vaporização da água ocorre pela diferença de temperatura entre o ar quente e o alimento, determinando uma diferença de pressão de vapor entre o ar e a superfície do alimento, e, ocasionando a transferência de massa de água do alimento para o ar, na forma de vapor de água. É na superfície do material que ocorre a evaporação da água livre, a qual foi transportada do interior do sólido. Os mecanismos mais importantes desse transporte são: difusão líquida, difusão de vapor e fluxo de líquido e de vapor. A energia envolvida no processo de secagem será correspondente ao calor latente de vaporização (PARK, 2001).

Segundo Key (1972), o fenômeno de secagem não pode ser generalizado, quando se trata de materiais biológicos e possuem características intrínsecas as quais podem ser diferentes entre si, com a existência da contribuição do soluto durante a secagem e o encolhimento do produto, devido a mudança de pressão entre o líquido e a parede celular.

De acordo com Brooker, Baker-arkema e Hall (1974), o emprego de secadores de leito fixo na secagem de materiais é bastante difundido, devido à

simplicidade no projeto e operação, acarretando baixos custos de implantação e manutenção

#### 2.4.1 Alterações provocadas pela secagem

Mesmo a secagem sendo um processo que apresenta muitas vantagens, todo produto quando submetido a esta operação sofre alterações, algumas estão listadas na Tabela 4, e podem resultar em características indesejáveis.

Tabela 4. Alterações durante a secagem

<b>Física</b>	<b>Química</b>	<b>Bioquímica</b>
-Encolhimento (alteração na forma e tamanho- fratura, enrugamento e poros)	-Diminuição e perda de atividade de reagentes	-Decomposição de microrganismo e biomoléculas
-Perda de elasticidade	- Quebra de componentes químicos	-Oxidação de lipídeos
-Cristalização ou mudança na estrutura cristalina		-Desnaturação de proteínas
-Perda de solubilidade		-Escurecimento enzimático
-Reidratação limitada		-Reação de Maillard
-Perda de aromas		-Oxidação ou inativação de vitaminas

Fonte: CORRÊA (2012)

As transformações físicas e químicas são decorrentes do gradiente de temperaturas, concentração, contato com o oxigênio e do aumento da concentração de solutos. Além disso, a secagem altera a cristalinidade da parede celular, aglutinação das microfibrilas, divisão da lamela média, perda da funcionalidade da membrana plasmática com o turgor, encolhimento do tecido, gelatinização do amido e redistribuição dos lipídeos (TOSATO, 2012).

Van Arsdel (1973) já relatava o fenômeno de encolhimento de materiais durante o processo de secagem. Devido a perda de umidade com o decorrer do tempo, ocorrem mudanças no tecido celular acarretando deformações no produto seco e limitação da remoção de umidade. Por isso que muitas pesquisas são voltadas para o estudo do encolhimento em alimentos, sendo este fenômeno relevante para obter-se um melhor entendimento da secagem, onde é preferível obter um menor encolhimento e deformações menos acentuadas, buscando manter a similaridade com o produto *in natura* e a qualidade do produto final.

De acordo com Labuza (1984), os principais fatores de deterioração de vegetais desidratados são: reações de escurecimento enzimático e não enzimático; reações de oxidação de lipídeos; reações de oxidação de vitaminas; e degradação de pigmentos.

A vitamina C (ácido ascórbico), provavelmente a mais sensível das vitaminas contidas em alimentos, destruída pela oxidação lipídica, também tem uma alta perda nutricional pelo calor empregado durante o processo de secagem. A taxa de destruição de vitamina C é específica para cada alimento e varia com a atividade de água (AGUIRRE e FILHO, 2002)

Na literatura são relatadas mudanças em algumas características importantes dos alimentos com o processo de secagem, entre elas estão a cor, textura, sabor e aroma (OETTERER et al., 2006).

#### 2.4.2 Modelos matemáticos para a secagem

Modelos matemáticos são criados para poder prever a cinética de secagem de um sólido, tendo como objetivo descrever como a umidade é transferida do interior do sólido para evaporar na sua superfície e qual mecanismo de transferência controla o processo de secagem (MAYTA et al., 1996).

Segundo Silva (2013), os referidos modelos são ferramentas importantes para mensurar o tempo necessário para diminuição de umidade do material e outros fenômenos sob diferentes condições de secagem, auxiliando nas tomadas de decisões bem como agregando melhorias ao processo.

Pode-se classificar estes modelos matemáticos tradicionalmente utilizados em: teóricos, semi-empíricos e os empíricos.

Brooker et al. (1992) define que no modelo teórico normalmente se consideram as condições externas sob as quais a operação ocorre, como também os mecanismos internos de transferência de energia e massa e seus efeitos. Dentre os modelos teóricos que descrevem a taxa decrescente de secagem de um sólido, consideram, geralmente, como mecanismo principal, a difusão líquida baseada na segunda Lei de Fick (PARK et al., 2002; ROMERO-PEÑA & KIECKBUSCH, 2003). A equação de difusão de massa em coordenadas esféricas dada pela segunda lei de Fick, pode ser escrita do seguinte modo:

$$\frac{\partial X}{\partial t} = D_{ef} \left( \frac{\partial^2 X}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial X}{\partial r} \right) \quad (1)$$

Onde  $D_{ef}$  corresponde ao coeficiente de difusão efetivo e  $X$  o teor de água numa posição  $r$  em um instante  $t$ .

Aplicando as seguintes condições de contorno na Equação (1):

- No início do processo, todas as espécies do soluto estão uniformemente distribuídos, mantendo uma concentração " $X_0$ ";
- Na superfície para  $t > 0$  a concentração é igual à concentração de equilíbrio.
- O coeficiente de difusão permanece constante e o material não apresenta variações de dimensões.

Assim, a solução da segunda lei de Fick, considerando a geometria esférica, difusividade efetiva constante e o encolhimento do material é desprezível, é dada por CRANK (1975) conforme descrita pela Equação 2:

$$RU = \frac{X - X_e}{X_0 - X_e} = \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \exp \left[ \frac{-n^2 \pi^2 D_{ef} t}{r^2} \right] \quad (2)$$

Truncando a série no primeiro termo, ou seja,  $n=1$ , é possível obter uma equação simplificada, como apresentada na Equação 3:

$$RU = \frac{X-X_e}{X_0-X_e} = \frac{6}{\pi^2} \exp \left[ -\frac{\pi^2 D_{ef} t}{R_p^2} \right] \quad (3)$$

Onde:

RU = Razão de Umidade

X= umidade média do sólido no instante t, em base seca

$X_e$  = umidade de equilíbrio

$X_0$ = umidade inicial

t = tempo (s)

n= 1 (1º termo da série)

$D_{ef}$  = Coeficiente de efetividade ( $m^2/s$ )

$\pi = 3,14$

r= raio da partícula esférica (m)

O coeficiente de difusão é uma difusividade efetiva que engloba os efeitos de todos os fenômenos, podendo intervir sobre a migração da água e o seu valor é sempre obtido pelo ajuste das curvas experimentais (MARTINAZZO et al., 2007). Logo, pode-se entender a difusividade como a facilidade com que a água é removida do material.

Os modelos empíricos derivam de uma relação direta entre o teor médio de umidade e o tempo de secagem, sendo um modelo de abordagem com base em dados experimentais e na análise adimensional.

Entre os diversos modelos matemáticos empíricos empregados para representar curvas de secagem, dois estão sendo listados na Tabela 5, sendo estes o modelo de Page e Henderson & Pabis, os quais são ajustados por regressão não-linear mediante um programa computacional.

Tabela 5. Modelos matemáticos empíricos utilizados para descrever o processo de secagem

<b>Modelo</b>	<b>Representação Matemática</b>
Henderson & Pabis	$RU = a \exp(-kt)$ (4)
Page	$RU = \exp(-k \cdot t^N)$ (5)

Onde:

RU – Razão de Umidade (adimensional);

t – tempo de secagem (min);

k – constante de secagem,

a, N – constantes dos modelos empíricos

## 2.5 Estado da arte

Alguns autores têm investigado o potencial agroindustrial do fruto do mandacaru, seja por meio de pesquisas de caracterização química, física, físico-química e fotoquímica, ou através de estudos de secagem, processamento e armazenamento de novos produtos.

Silva e Alves (2009) caracterizaram o fruto do mandacaru, polpa e casca, separadamente, obtendo os valores: pH de 4,42, para casca, e de 4,40 para a polpa. Os teores de ácido ascórbico para a polpa foram de 100mg/100g e 80mg/100g para a casca. Para os teores de sólidos solúveis, constatou-se diferença significativa entre os valores da polpa e da casca, com 11% e 5%, respectivamente. A polpa do fruto apresentou uma porcentagem maior de açúcares redutores, com 5,76%, em comparação à casca, com 1,53%.

Melo et al. (2013) estudaram a secagem em camada de espuma da polpa do fruto do mandacaru com a adição de 2% de albumina e 2% de Super Liga Neutra, com tempo de batimento de 5 min, desidratada em estufa com circulação de ar forçada, a 70; 80, e 90 °C, com três diferentes espessuras de camada de espuma (0,5; 1,0 e 1,5 cm). As curvas de secagem foram ajustadas aos modelos de Page, Henderson e Pabis e Cavalcanti Mata, sendo este último

o que melhor se ajustou as curvas de cinética de secagem da polpa do fruto do mandacaru. Foi também reportado nesse trabalho a influência da espessura da camada de espuma e a temperatura de secagem no tempo de secagem da espuma, sendo o processo mais rápido para a menor espessura e temperatura mais elevada.

Oliveira et al. (2015) avaliaram a estabilidade do fruto do mandacaru em pó com duas formulações, com 10% de maltodextrina e diferentes dextroses equivalentes (DE), 10 e 14, acondicionado em embalagens laminadas durante 50 dias de armazenamento em condições controladas (25 °C e umidade relativa de 57,7%). Foi verificado pelos autores que as embalagens não conseguiram impedir a absorção de água com escurecimento do produto, mas mesmo assim a atividade de água das amostras foi considerada microbiologicamente segura em razão de ter atingido o valor máximo de 0,351. A molhabilidade do fruto em pó foi maior utilizando-se a maltodextrina com DE 14 com redução do teor de ácido ascórbico. E dentro de suas especificidades as dextroses apresentaram comportamentos semelhantes nas amostras em pó.

Calado et al. (2016) estudaram o teor de compostos fenólicos em frutos de mandacaru (casca e polpa), colhidos em dois estádios de maturação submetidos ao hidrofresamento, onde os frutos do mandacaru maduros apresentaram maiores teores de compostos fenólicos, em relação ao intermediário, e percebeu que o hidrofresamento foi eficaz na manutenção dos teores de compostos fenólicos da casca dos frutos intermediários não surtindo efeito nas polpas dos frutos nos dois estádios de maturação.

Melo et al.(2017) avaliaram como os diferentes estádios de maturação interferem no valor nutricional e funcional de frutos de mandacaru adotando a seguinte legenda: (Verde Claro (VC), Início de Pigmentação (IP), Início de Pigmentação Vermelho (IPV), Pigmentado Vermelho (PV), Totalmente Vermelho (TV).Os autores notaram que os valores de sólidos solúveis, a relação Sólidos Solúveis/Acidez Titulável (SS/AT) e pH dos frutos aumentaram com o avanço da maturação, enquanto a acidez titulável diminuiu, todos estes tendendo a se estabilizar no estágio IPV, indicando ser este o ponto de colheita.Os frutos de mandacaru apresentaram um alto conteúdo de polifenóis extraíveis totais em todos os estádios de maturação e uma elevada atividade antioxidante total.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

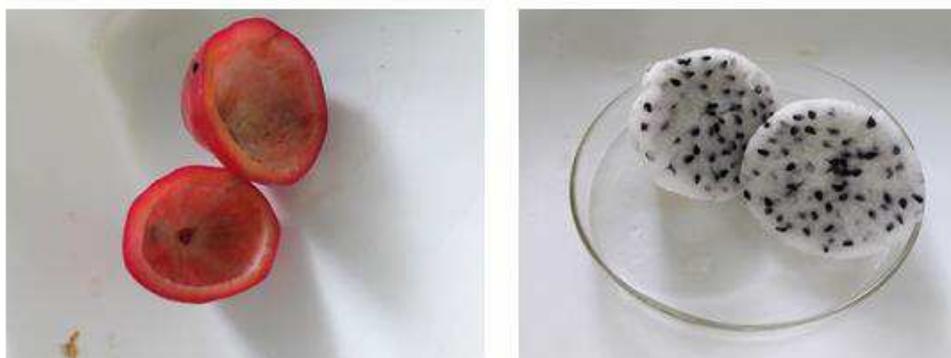
Os experimentos foram realizados no Laboratório de Engenharia Bioquímica (LEB) da Unidade Acadêmica de Engenharia Química no Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal de Campina Grande – Paraíba, com exceção da análise de atividade de água, a qual foi conduzida no Laboratório de Termodinâmica de Engenharia Química do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba – Campus João Pessoa (DEQ/CT/UFPB).

#### 3.1 Matéria-prima

A casca do fruto do mandacaru caracterizada neste trabalho foi obtida no município de Sertânia, Pernambuco, e conduzido ao Laboratório de Engenharia Bioquímica (LEB) no Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal de Campina Grande. Os frutos do mandacaru foram sanitizados segundo Resolução RDC nº 218/2005 da ANVISA (BRASIL, 2005), que regulamenta procedimentos higiênico-sanitários para manipulação de alimentos e bebidas preparados com vegetais. Posteriormente, estes frutos foram submetidos à seleção para retirada de frutos com lesões visíveis e infecções. A uniformidade de cor e tamanho também foram levados em conta.

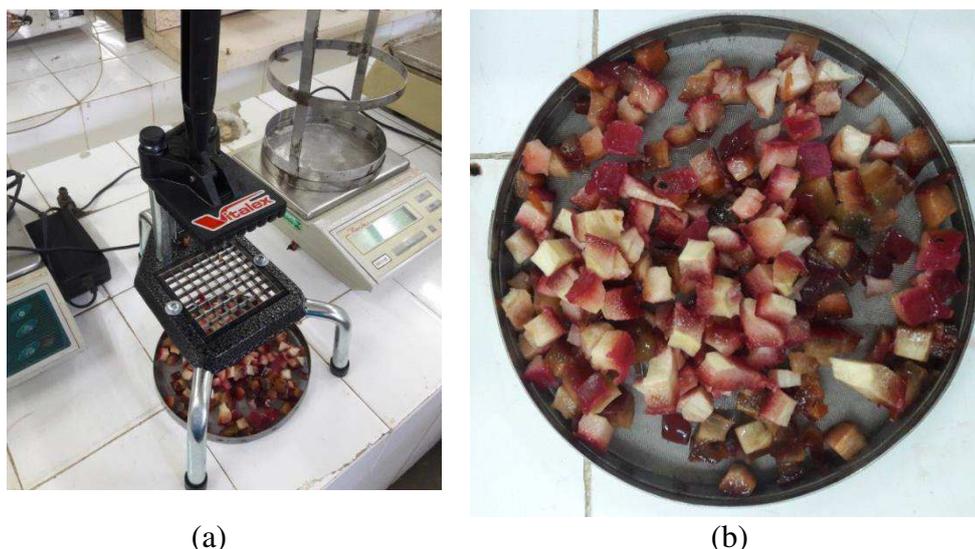
Para os experimentos foi apenas utilizada a casca do fruto do mandacaru, por isso, após ser feita a seleção, esta foi separada da polpa, como pode ser visto na Figura 10.

Figura 6. Casca e polpa do fruto do mandacaru, respectivamente.



A casca foi cortada em cubos de 1x1cm, como pode ser verificado na Figura 7. Ao fim do processo, as amostras foram homogeneizadas e armazenadas no freezer em sacos plásticos selados até que fossem realizadas as análises e a secagem.

Figura 7 -Cubos das cascas do fruto do mandacaru: (a) cortador utilizado (b) cascas com geometria cúbica.



### 3.2 Caracterização da casca do fruto do mandacaru, in natura

As análises realizadas foram: Teor de água, cinzas, pH, sólidos solúveis totais, açúcares redutores, atividade de água, acidez total titulável, compostos fenólicos e atividade antioxidante. Todas as análises foram realizadas em triplicata e os resultados foram expressos como média e desvio.

#### 3.2.1 Teor de Água

Para determinação do teor de água foi utilizado o método gravimétrico na estufa a 105°C por 24h (IAL, 2008). Foram pesadas 5 g da amostra em um cadinho previamente tarado. Os cadinhos foram colocados na estufa a 105°C e após o período de 24h, foram resfriados em dessecador e pesados. O teor de umidade (em base úmida) foi obtido pela diferença entre massa inicial e final, Equação 6:

$$Umidade\% = \left( \frac{m_A - m_{Af}}{m_A} \right) 100(6)$$

Onde:

$m_A$  = massa da amostra

$m_{Af}$  = massa final da amostra

### 3.2.2 Cinzas

A determinação de cinzas foi realizada em uma mufla a temperatura de 700°C por um período de 5 horas. Esse procedimento foi necessário para que houvesse a destruição total da matéria orgânica presente na amostra (IAL, 2008). Para realizar o procedimento, foram escolhidos cadinhos de porcelana os quais foram lavados e colocados em estufa para secar por um período de 1 hora. Após esse tempo, os mesmos foram mantidos em dessecador com sílica gel até que atingissem a temperatura ambiente e posteriormente foram pesados em balança analítica obtendo-se assim o peso de cada recipiente. Foi adicionado uma quantidade de 5 g da amostra aos cadinhos e estes foram levados para mufla onde ficaram submetidos a incineração. A quantificação de cinzas foi feita pela Equação 7:

$$Cinzas\% = \left( \frac{m_{RAC} - m_R}{m_a} \right) 100(7)$$

Onde:

$m_A$  = massa da amostra

$m_R$  = massa do recipiente

$m_{RAC}$  = massa do conjunto recipiente (MR)/amostra calcinada (AC)

### 3.2.3 Potencial Hidrogeniônico (pH)

Utilizando uma proporção de 1:10, foi preparada uma solução com 20 mL de água destilada e 2 gramas de amostra em um bécker. Após homogeneização a suspensão foi deixada em repouso por um período de 30 minutos. Esta solução foi filtrada em um papel filtro contendo algodão. Posteriormente mediu-se o pH da solução aquosa em potenciômetro digital, previamente calibrado com as soluções padrões.

### 3.2.4 Determinação de sólidos solúveis totais (°Brix)

Os sólidos solúveis totais, expressos em (°Brix), foram determinados pelo método refratométrico, com refratômetro com escala em grau Brix, de acordo com as normas do manual do Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2008).

### 3.2.5 Açúcar Redutor

A determinação de açúcares redutores foi feita conforme metodologia de Miller (1959). O método é baseado na redução do ácido 3,5 dinitrosalicílico (DNS) a 3-amino-5-nitrosalicílico, simultaneamente com a oxidação do grupo aldeído do açúcar ao grupo carboxílico.

Em uma balança analítica foi pesado 5 gramas para o material *in natura* e 0,5 grama para a farinha da casca do fruto do mandacaru. Cada amostra foi transferida para um Erlenmeyer de 125 mL e inserido um volume de 200 mL de água destilada. Esta solução foi levada para um shaker, a qual permaneceu sob agitação por um período de 30 minutos. Em seguida, filtrou-se a amostra e em um tubo de ensaio, foram colocados 1 mL do filtrado e 1 mL de DNS. Os tubos de ensaio foram então colocados em água em ebulição por 5 minutos, esperou-se esfriar e adicionou-se 8 mL de água destilada. Por fim, foram feitas as leituras das amostras em absorvâncias em um espectrofotômetro a um comprimento de onda de 540 nm. O mesmo procedimento foi feito para a prova em branco, sendo que ao invés de usar 1 mL do filtrado foi utilizado 1 mL de água destilada. A curva padrão foi usada para transformar a leitura de

absorbância (ABS) em miligramas de açúcares redutores por mililitro de solução. Os cálculos foram feitos, conforme a Equação 8:

O cálculo para porcentagem de açúcares redutores (AR) foi feito utilizando a seguinte equação 8:

$$AR = \frac{ABS F_C V_A}{m_A 1000} (8)$$

Onde:

$ABS$  = Absorbância medida no espectrofotômetro

$F_C$  = Fator de correção ( $F_C = 1,6114$ )

$V_A$  = Volume de diluição (mL)

$m_A$  = massa da amostra (g)

### 3.2.6 Atividade de Água

A atividade de água foi determinada através de leitura direta da amostra no medidor de água Novasina LabMaster -aw, e foi utilizada a temperatura de 25°C para as leituras. A análise foi realizada 15 dias após a secagem do material.

### 3.2.7 Acidez Total Titulável

Foi pesado 5g para amostra *in natura*, e 0,7g para a farinha da casca do fruto do mandacaru. Cada amostra foi transferida para um Erlenmeyer de 125 mL e inserido um volume de 50 mL de água destilada. Adicionou-se 4 gotas da solução fenolftaleína e titulou com solução de hidróxido de sódio 0,1 até que a mudança de cor fosse visível. O cálculo da acidez expressa em ácido orgânico (ácido cítrico) foi feito pela Equação 9:

$$ATT = \frac{V f M P M}{10 P n} (9)$$

Onde:

ATT = acidez (gramas de ácido cítrico orgânico %);

V = volume da solução de hidróxido de sódio gasto na titulação (mL);

M = molaridade da solução de hidróxido de sódio;

P = massa da amostra (g);

PM = peso molecular do ácido cítrico;

f = fator de correção da solução de hidróxido de sódio (f = 1,338);

n = número de hidrogênioionizáveis.

### 3.2.8 Compostos Fenólicos Totais

A metodologia para análise de compostos fenólicos totais foi feita pelo método de Folin&Ciocalteu, adaptado da EMBRAPA preconizado por WATERHOUSE (2006).

#### 3.2.8.1 Preparo do extrato da amostra

Em 50 ml de água destilada foi adicionado 11g do material *in natura* e 1,0g de amostra do material seco. As amostras foram maceradas, e em seguida permaneceram em repouso por um período de 30 minutos, sendo filtradas logo em seguida, e obtendo assim um extrato aquoso líquido. É importante ressaltar que a análise para compostos fenólicos aconteceu de forma a evitar o mínimo de contato possível do material com a incidência da luz.

#### 3.2.8.2 Determinação de compostos fenólicos

Uma alíquota de 25 $\mu$ L do extrato foi transferida para um tubo de ensaio o qual foi adicionado 2100  $\mu$ L de água destilada e 125  $\mu$ L do reagente Folin-Ciocalteu seguido de agitação em um agitador vortex e deixou-se em repouso por 5 minutos. Após o tempo de reação, foram adicionados 250  $\mu$ L de carbonato de sódio a 20% (m/v), seguida de uma nova agitação e novamente em repouso em banho Maria a 40°C por 30 min. Deixou-se esfriar as amostras e foi feita a leitura em um espectrofotômetro a 765 nm. A quantificação de fenólicos totais foram expressos em mg EAG /100g de amostra.

### 3.2.9 Atividade Antioxidante pelo método ABTS

A análise da atividade antioxidante pelo método do radical ABTS foi realizada, conforme metodologia descrita por RUFINO et al (2007):

#### 3.2.9.1 Preparo do Radical ABTS

O radical ABTS foi obtido por meio de uma reação entre 88  $\mu\text{L}$  de persulfato de potássio com 5 mL da solução estoque de ABTS, mantidos no escuro por 16 h. Foi retirado 1 mL dessa mistura e diluiu-se em álcool etílico até obter uma absorbância de  $0,70 \pm 0,05\text{nm}$  a um comprimento de onda de 734 nm.

#### 3.2.9.2 Preparo do Extrato do método ABTS

O extrato foi preparado usando 11gdo material *in natura* e 1,5g do material desidratado, conforme descrito no item 3.1.7.2.

#### 3.2.9.3 Determinação da atividade antioxidante pelo método ABTS

A partir do extrato obtido no item anterior, preparar em tubos de ensaio, no mínimo, três diluições diferentes, em triplicata. Em ambiente escuro, foi transferido umaalíquota de 30  $\mu\text{L}$  de cada diluição do extrato para tubos de ensaio com 3,0 mL do radical ABTS e homogeneizou-se em agitador vortex. A análise foi realizada a um comprimento de onda de (734 nm) após 6 minutos da mistura. e utilizou-se o álcool etílico, como branco, para calibrar o espectrofotômetro.

### 3.3 Secagem da casca do fruto do mandacaru

Os cubos das cascas do fruto do mandacaru foram dispostas em em bandeja perfurada, em camada fina, e a mesma foi acoplada a suporte metálico de alumínio. O suporte e a bandeja foram então e encaminhadas para

o secador, sendo o processo de secagem conduzido em leito fixo. O aparato experimental é representado esquematicamente na Figura 8.

Figura 8. Secador de Leito Fixo



A secagem foi realizada nas temperaturas de 50°C, 60°C e 70 ° C com uma velocidade do ar de 1,2 m/s. Sempre ao ligar o secador esperava-se um determinado tempo até a temperatura estabilizar e atingir o valor desejado. Os cubos da casca foram distribuídos em uma única camada na bandeja e postos no secador com fluxo de ar passando perpendicularmente pela matéria-prima.

Durante o processo de secagem, a bandeja era retirada e pesada em intervalos de tempos regulares e o valor da massa anotado. Nos primeiros 30 minutos, a bandeja era pesada de 2 em 2 minutos. Nos 30 minutos seguintes, a bandeja era pesada de 5 em 5 minutos. Após a primeira hora de secagem, a pesagem da bandeja foi feita de 10 em 10 minutos. Na segunda hora de secagem a pesagem da bandeja foi feita de 30 em 30 minutos. A partir do momento que água livre ficou mais escassa, o tempo de secagem foi aumentado e a pesagem foi feita de 60 em 60 minutos até peso constante. Esse é o procedimento foi feito para acompanhar a cinética de secagem.

A bandeja era retirada para pesagem, mas retornava rapidamente para o secador a fim de dar continuidade ao processo de secagem. O acompanhamento da redução da umidade do material foi monitorado através de sucessivas pesagens em uma balança com precisão de duas casas decimais até se obter o teor de umidade de equilíbrio. Os dados da cinética de secagem obtidos nessa etapa foram plotados em gráficos como razão de umidade versus tempo e ajustados os dados usando modelos matemáticos empíricos e o modelo difusional.

### 3.4 Caracterização da casca do fruto do mandacaru em pó

Após a secagem o material foi submetido à moagem em um moinho do tipo MA 048 da marca MARCONI. O material foi armazenado em embalagens de polietileno laminado e mantidos dentro de uma caixa de isopor para proteger as amostras da interferência da luz. Todas as análises supracitadas no item 3.2 foram realizadas igualmente para a casca do fruto do mandacaru desidratado. Abaixo na Figura 9 encontram-se as farinhas obtidas para as temperaturas de 50, 60 e 70°C.

Figura 9. Farinha da casca do fruto do mandacaru na Temperatura de 50, 60 e 70°C, respectivamente



## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Caracterização da casca do fruto do mandacaru *in natura*

Na Tabela 6, são mostrados os valores médios e os desvios padrões da caracterização físico-química e compostos fenólicos totais para a casca do fruto do mandacaru *in natura*.

Tabela 6. Caracterização da casca do fruto do mandacaru *in natura*

<b>Parâmetros analisados</b>	<b>Média ± Desvio Padrão</b>
Teor de água (%)	92,04 ± 0,9
Cinzas (%)	1,3 ± 0,3
°Brix	1,53 ± 0,04
Acidez (% Ácido Cítrico)	0,7 ± 0,03
pH	4,41 ± 0,01
Atividade de água	0,984 ± 0,001
Açúcares Redutores (% em glicose)	1,46 ± 0,05
Fenólicos Totais (mg ácido gálico/ 100 g)	326,78 ± 4,35
Atividade Antioxidante (µM Trolox/g de amostra)	7,23 ± 0,19

O teor de água encontrado indica elevada quantidade de água na casca do fruto, característica esta que não favorece a sua conservação em condições ambientais. Seu valor médio está semelhante ao trabalho de Silva et al. (2012), que encontram um valor de 94,2% de umidade. Oliveira et al. (2004) estudando as características físico químicas dos frutos do mandacaru observaram um teor de água de 93,77%. Nascimento et al. (2011), para o mesmo fruto, encontrou o valor entre 85,82-86,28%. Melo (2008), encontrou um valor de 90,71% para a polpa do fruto do mandacaru.

O valor médio de cinzas, apresentado na Tabela 10, quando comparado com a literatura está acima do valor encontrado por Silva et al. (2012), que foi

de 0,44%, indicando assim que o material estudado possui um maior teor de minerais. As cinzas em alimentos são consideradas como parâmetro de qualidade, pois quanto maior o seu valor, também são maiores os teores dos minerais.

Os sólidos solúveis totais (°Brix) são usados como índice de maturação para alguns frutos e indicam a quantidade de substâncias que se encontram dissolvidas no suco, constituído, na sua maioria de açúcares (CHAVES et al., 2004). Observa-se que os sólidos solúveis totais determinados para a casca do fruto do mandacaru *in natura*, do presente estudo, foi inferior ao obtido por Silva e Alves (2009), 5,00°Brix, porém apresenta semelhança a 1,96°Brix, valor determinado por Silva et al (2012). Como também inferior ao aos valores encontrados por Lima (2006) na polpa do facheiro, que foi de 3,74°Brix. Melo (2008), para a polpa do fruto do mandacaru determinou um valor de 10,69°Brix. Essas variações no teor de sólidos solúveis totais podem ocorrer em razão das diferentes espécies, cultivar, estágio de maturação e clima, dentre outros fatores.

Melo et al. (2017), trabalhando com frutos do mandacaru em diferentes estádios de maturação, reportam uma faixa de 0,33 a 0,45% de ácido cítrico para o fruto do mandacaru (polpa + casca), sendo o valor mais baixo para o fruto mais maduro, e o mais alto para o mais verde. Silva et al. (2012) obtiveram valores de acidez variando entre 0,05 e 0,33 (% ácido cítrico) para polpa e casca do fruto do mandacaru, respectivamente. Melo (2008) e Oliveira et al. (2004) determinaram para a polpa valores de 0,224 e 0,211 (% ácido cítrico), respectivamente. Diante desses valores nota-se que a acidez encontrada neste trabalho para a casca do fruto do mandacaru foi superior aos estudos encontrados na literatura.

Observa-se que o valor encontrado para o pH da casca do fruto do mandacaru *in natura* está em conformidade com os valores indicados por SILVA e ALVES (2009) e SILVA et al. (2012), que foram de 4,42 e 4,54, respectivamente. Baseado na classificação de BARUFFALDI e OLIVEIRA (1998) a casca do fruto do mandacaru é considerada como alimento ácido (pH entre 3,7 e 4,5).

Silva e Alves (2009) verificaram uma porcentagem maior de açúcares redutores para a polpa do fruto, com 5,76%, em comparação à casca, com

1,53%. Oliveira et al. (2004) e Melo (2008) encontraram valores de 9,54 e 10,88 % para polpa, respectivamente. Com relação ao fruto do mandacaru, nota-se que o valor de açúcares redutores (AR) da casca do fruto no presente trabalho foi inferior aos valores encontrados para polpa.

A atividade de água, corresponde à relação existente entre a pressão parcial de vapor de água na superfície do alimento ( $p$ ) e a pressão parcial de vapor de água pura ( $p_0$ ) a uma dada temperatura. É um parâmetro que varia de 0 a 1, onde os alimentos ricos em água, apresentam valores acima de 0,90, os quais, nessas condições, sofrem facilmente contaminação microbológica e reações enzimáticas e oxidativas.

Para fenólicos o valor encontrado para o teor de fenólicos totais expresso em mg de ácido gálico/100 g da casca do fruto do mandacaru foi de 326,78 EAG (mg ácido gálico/100 g de polpa).Vieira et al (2011) avaliaram e encontraram os seguintes teores de fenólicos totais, expressos nessa mesma unidade, para os frutos da acerola (*Malpighia emarginata* DC.), 835,25 EAG, bacuri (*Platonia insignis* Mart.), 10,35 EAG, cajá (*Spondias mombin* L.), 70,92 EAG, caju (*Anacardium occidentale*), 201,61 EAG, goiaba (*Psidium guajava*), 104,76 EAG e tamarindo (*Tamarindus indica* L.), 23,57 EAG,.

Calado et al. (2016) ao estudarem o teor de compostos fenólicos em frutos de mandacaru em dois estádios de maturação, intermediário e maduro, verificou que para os dois estádios, a casca do fruto apresentou valores superiores ao encontrados na polpa, encontrando valores de compostos fenólicos na casca do fruto maduro em torno de 400 EAG, e de 200 EAG para casca do fruto intermediário.

Para atividade antioxidante pelo método ABTS o valor encontrado no presente trabalho foi de 7,04 ( $\mu\text{M}$  Trolox/ g de amostra) e encontra-se de acordo com os dados encontrados por Melo et al. (2017), que avaliando frutos do mandacaru colhidos no município de Barra de Santa Rosa-PB para três diferentes estádios de maturação, encontrou os valores de atividade antioxidante para casca deste fruto de 6,88, 8,31 e 10,14( $\mu\text{M}$  Trolox/ g de amostra).

#### 4.2 Cinética de secagem para as temperaturas de 50, 60 e 70°C

Com os dados experimentais de umidade em base seca determinados foi possível calcular as razões de umidade, ao longo do tempo, conforme a Equação 10, para cada temperatura de secagem,:

$$RU = \frac{X_t - X_e}{X_0 - X_e} \quad (10)$$

Em que:

RU é o adimensional de umidade;

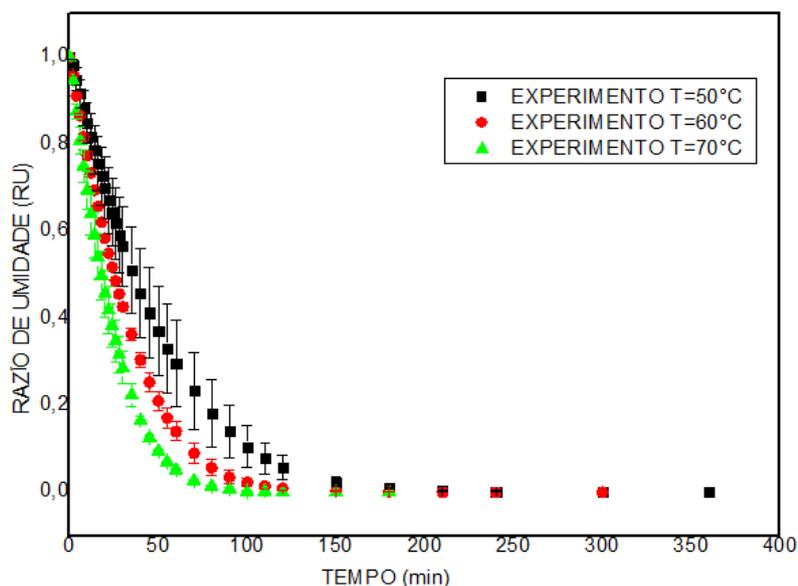
$X_t$  é o teor de água do produto no tempo t (kg água/kg de casca do fruto do mandacaru seco);

$X_e$  é o teor de água de equilíbrio do produto;

$X_0$  é o teor de água inicial do produto

Na Figura 10 estão representados os gráficos da perda de umidade com relação ao tempo para as temperaturas de 50, 60 e 70°C. Os ensaios foram realizados com repetição para dar mais confiabilidade aos dados experimentais. O valor de 1,2 m/s foi mantido constante para a velocidade do ar.

Figura 10. Cinética de secagem para T= 50°C, T=60°C e T=70°C.



A umidade de equilíbrio foi atingida quando a pressão parcial de vapor da água na superfície do produto foi igual à pressão parcial de vapor de água contida no ar. Para a cinética de secagem a 50, 60 e 70°C esta umidade foi atingida nos tempos de 300, 210 e 120 minutos, respectivamente.

Pode-se observar que a razão de umidade da secagem em menor temperatura levou mais tempo para chegar ao equilíbrio comparado ao tempo da secagem em temperatura maior. Esse fato pode ser explicado pela maior pressão de vapor interna na casca do fruto, acarretada pela maior temperatura de secagem, levando à maior saída de moléculas de água do produto, uma vez que permite que o ar absorva maior quantidade de umidade.

Analisando a Figura 10, percebe-se que secagem foi mais rápida nos 40 minutos iniciais, isto ocorre devido a maior quantidade de água disponível na superfície do material proveniente do transporte de água do interior do material para a superfície.

A partir dos 40 minutos, a perda de umidade torna-se um pouco mais lenta. Este fato pode ser explicado pela resistência do meio poroso, devido à redução da permeabilidade dificultando a remoção de água e a difusão passa a ser fenômeno físico que governa o transporte de umidade no material (DOYMAZ, 2005; DOYMAZ, 2011).

Nesse momento há uma grande dificuldade em remover o teor de água presente no material e também ocorre uma tendência ao equilíbrio. Esse período é responsável pelo maior tempo de secagem. Afolabi (2014) relata que o encolhimento no material provocado pela secagem vai dificultando a perda de água ao longo do processo.

#### 4.3 Modelos matemáticos

##### 4.3.1 Ajustes das Curvas de Cinética de secagem usando modelos empíricos

Os modelos empíricos aplicados foram o Modelo de Page e o de Henderson & Pabis. Os coeficientes das equações dos modelos empíricos foram estimados empregando regressão não-linear.

Nas Figuras 11, 12 e 13 estão representadas as cinéticas de secagem para o processo de secagem a 50, 60 e 70°C, respectivamente, usando o modelo empírico de Page.

Figura 11. Cinética de secagem para  $T= 50^{\circ}\text{C}$  e o ajuste com o modelo de Page

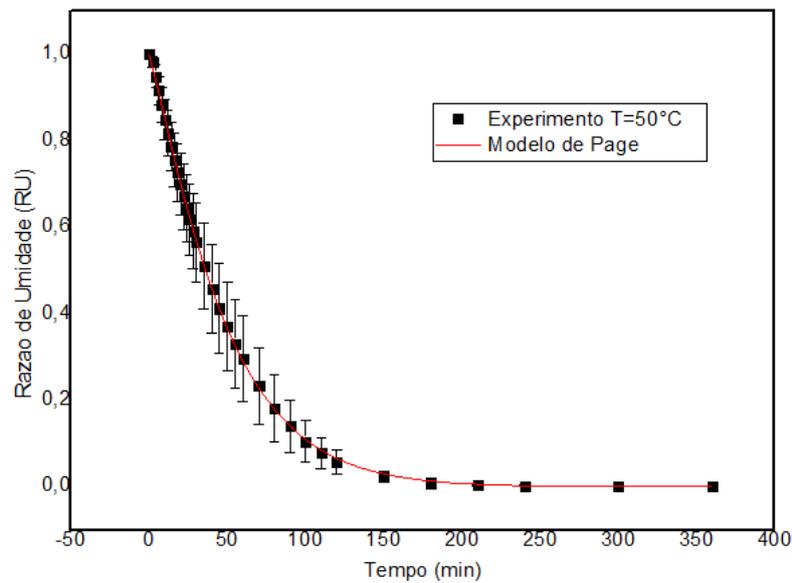


Figura 12. Cinética de secagem para  $T= 60^{\circ}\text{C}$  e o ajuste com o modelo de Page

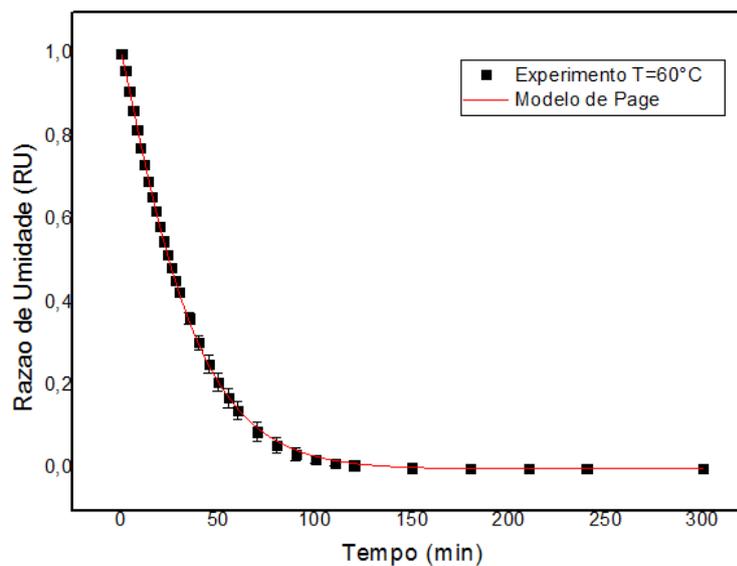
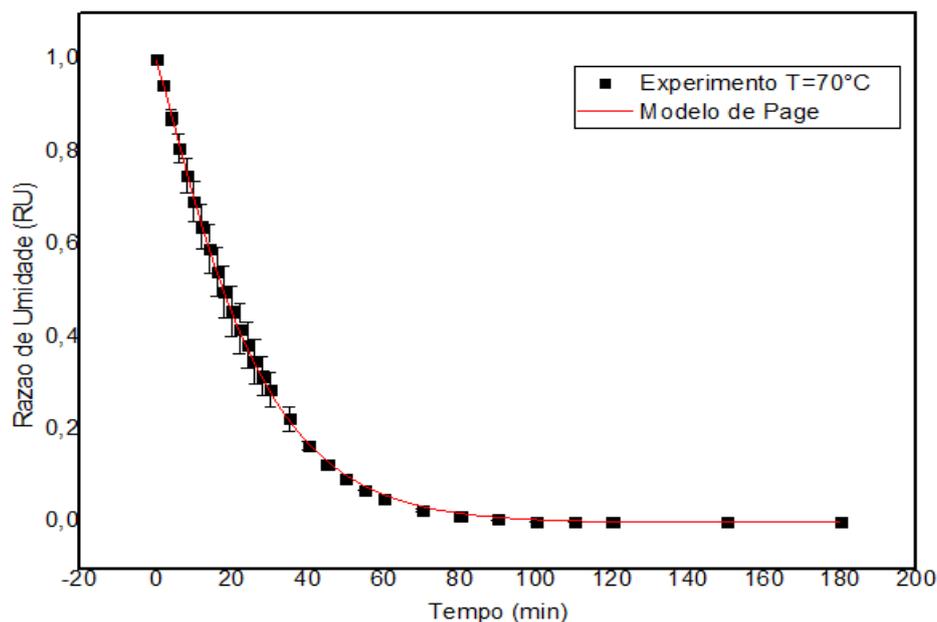


Figura 13. Cinética de secagem para  $T=70^{\circ}\text{C}$  e o ajuste com o modelo de Page



Percebe-se que o modelo de Page forneceu um bom ajuste para os dados experimentais da secagem realizados a temperatura de 50, 60 e  $70^{\circ}\text{C}$ . Na Tabela 7 encontram-se os parâmetros estimados para o modelo de Page e os valores dos coeficientes de correlação ( $R^2$ ), raiz quadrada da média dos desvios (RMSE) e soma dos quadrados dos desvios (SSE).

Tabela 7. Estimativa dos Parâmetros para o Modelo de Page

Modelo	T ( $^{\circ}\text{C}$ )	k	N	$R^2$	SSE	RMSE
Page	50	$0,0118 \pm 0,000021$	$1,13665 \pm 0,0048$	0,99987	0,0001	0,039
	60	$0,01704 \pm 0,00048$	$1,15525 \pm 0,00829$	0,99968	0,0003	0,049
	70	$0,02526 \pm 0,00068$	$1,15135 \pm 0,00848$	0,99969	0,0002	0,0489

As Figuras 14, 15 e 16 exibem o comportamento da razão de umidade com o tempo para as temperaturas de 50, 60 e  $70^{\circ}\text{C}$  para o modelo de Henderson & Pabis:

Figura 14. Cinética de secagem para  $T= 50^{\circ}\text{C}$  e o ajuste com o modelo de Henderson & Pabis

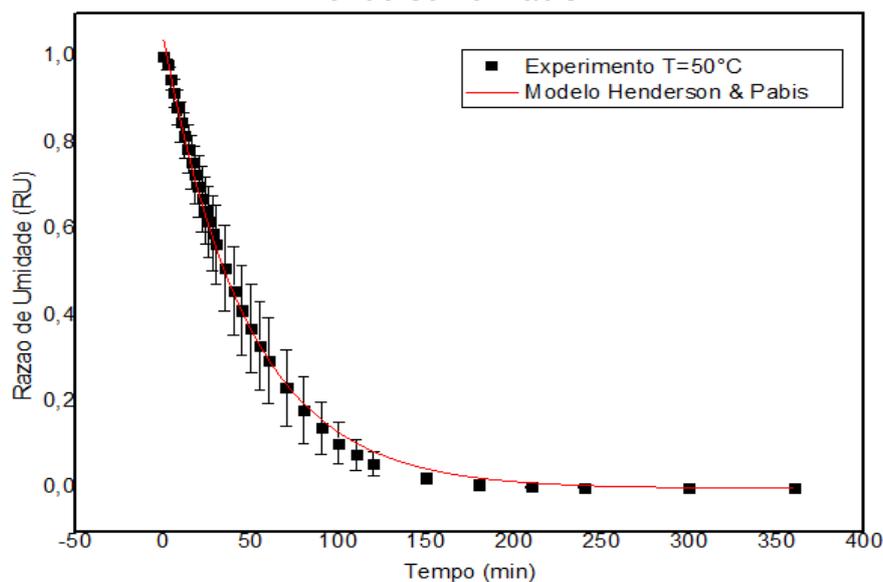
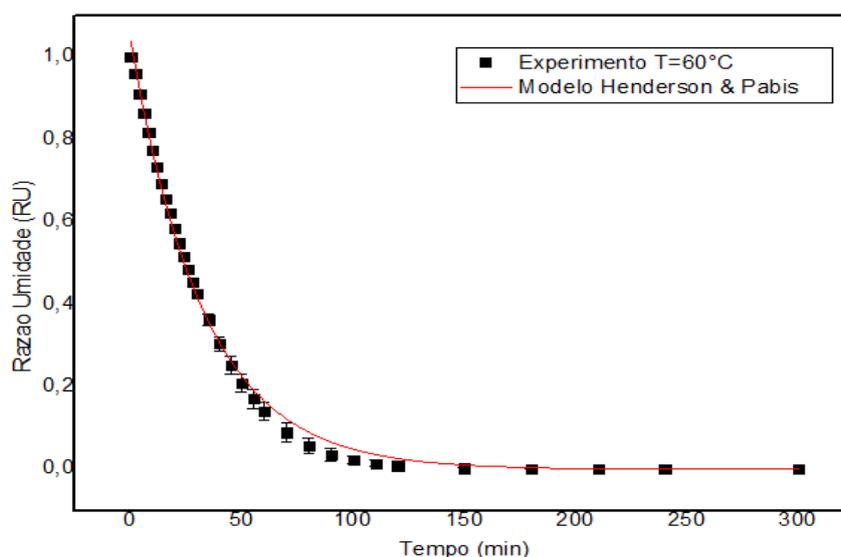


Figura 15. Cinética de secagem para  $T= 60^{\circ}\text{C}$  e o ajuste com o modelo de Henderson & Pabis



Nota-se que o modelo de Henderson & Pabis também forneceu um bom ajuste aos dados experimentais. Todavia, quando se compara este modelo com de Page, percebe-se que alguns pontos ficam fora da curva.

Os parâmetros estimados para o modelo de Henderson & Pabis e os valores dos coeficientes de correlação ( $R^2$ ), raiz quadrada da média dos desvios (RMSE) e soma dos quadrados dos desvios (SSE) estão dispostos na Tabela 8.

Figura 16. Cinética de secagem para  $T=70^{\circ}\text{C}$  e o ajuste com o modelo de Henderson & Pabis

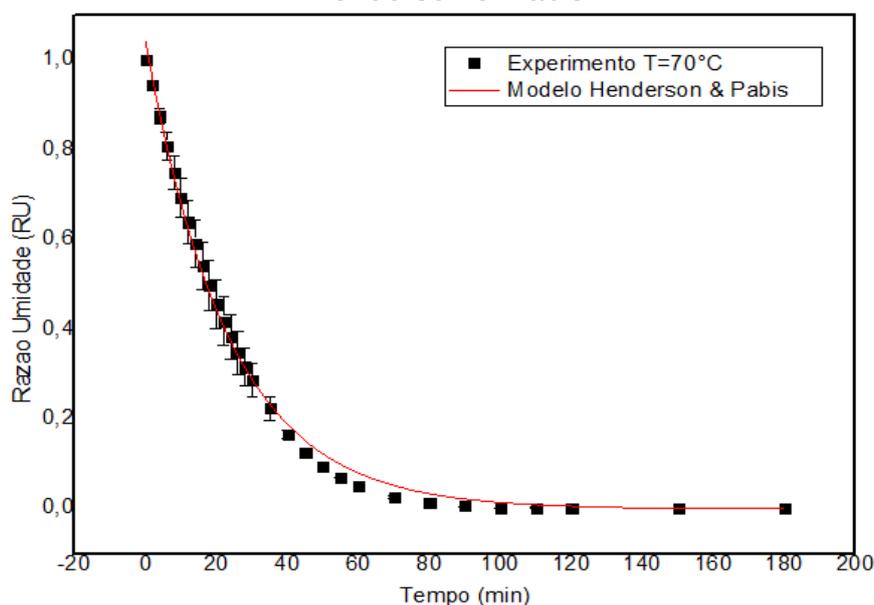


Tabela 8. Estimativa dos Parâmetros para o Modelo de Henderson & Pabis

Modelo	T ( $^{\circ}\text{C}$ )	k	a	R <sup>2</sup>	SSE	RMSE
Henderson &Pabis	50	$0,02082 \pm 0,00661$	$1,0409 \pm 0,0061$	0,99816	0,002	0,076
	60	$0,03054 \pm 0,00056$	$1,04101 \pm 0,00969$	0,9969	0,0028	0,087
	70	$0,0428 \pm 0,00075$	$1,04137 \pm 0,01026$	0,99704	0,0023	0,085

Analisando as Tabelas 7 e 8, percebe-se que os dois modelos para as três temperaturas apresentam bons valores de  $R^2$ , entretanto, é por meio dos menores valores da soma dos quadrados dos desvios (SSE) e da raiz quadrada da média dos desvios (RMSE) e coeficiente de correlação ( $R^2$ ), que se comprova qual modelo proporciona um melhor ajuste para os dados experimentais.

O modelo que forneceu melhor ajuste para as cinéticas de secagem foi o modelo de Page, isso fica claro ao se observar o  $R^2$  e os menores valores de SSE e RMSE. Este modelo apresentou o melhor valor de  $R^2$  em todas as temperaturas de secagem, indicando que o modelo foi adequado para representar a cinética de secagem da casca.

Observando a constante k de secagem para os modelos, verifica-se que para todos os modelos essa constante aumenta com o acréscimo da temperatura. Conforme Madamba (1996), a partir da constante k, pode-se

inferir o efeito da temperatura e também a relação entre coeficiente de difusividade efetivo e ao processo de difusão.

#### 4.3.2 Difusão líquida baseada na segunda Lei de Fick

Ao aplicar o modelo difusional para geometria de uma esfera, foram feitas algumas considerações:

- Difusividade efetiva constante;
- Série truncada no primeiro termo;
- Encolhimento desprezível.

O coeficiente de difusividade efetivo foi obtido por meio da linearização da Equação 3 ao plotar o gráfico logaritmo natural (ln) da razão de umidade (RU) versus tempo (hora), resultando na Equação 10.

$$\ln RU = \ln \frac{6}{\pi^2} + \left[ -\frac{\pi^2 D_{eff} t}{R_p^2} \right] \quad (10)$$

Com o resultado do coeficiente angular da equação da reta foi possível calcular o coeficiente de difusividade efetivo. Na Tabela 9, encontram-se os valores dos coeficientes de difusão efetivo para as temperaturas de 50, 60 e 70°C.

Tabela 9. Coeficiente de difusividade efetiva (Def)

<b>T(°C)</b>	<b>Def (m<sup>2</sup>/s)</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
50	9,17x10 <sup>-11</sup>	0,993
60	1,42x10 <sup>-10</sup>	0,995
70	2,39x10 <sup>-10</sup>	0,987

Nas Figuras 17, 18 e 19 é possível observar como os dados experimentais se ajustaram ao modelo difusional esférico para as temperaturas de 50, 60 e 70°C, respectivamente.

Figura 17. Modelo difusional para T=50°C

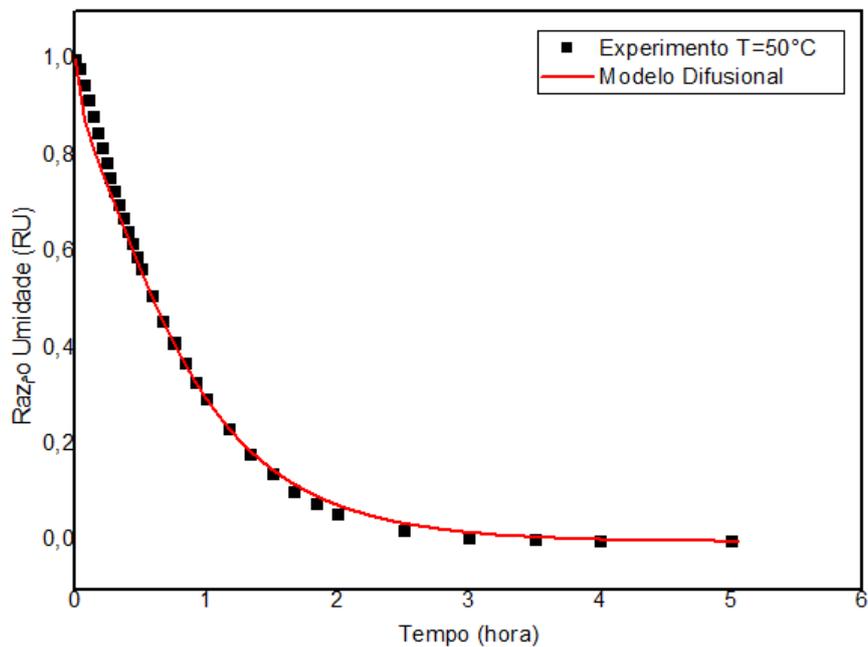
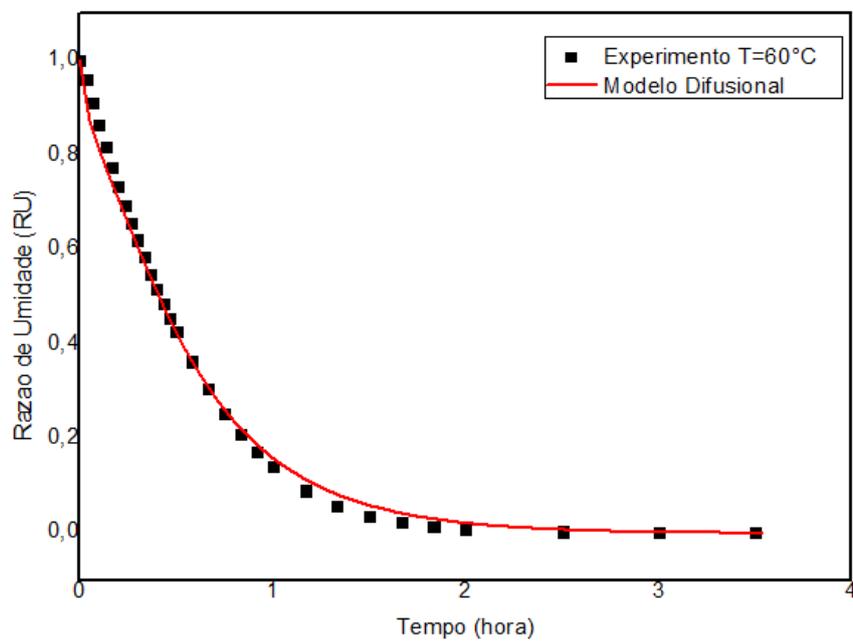


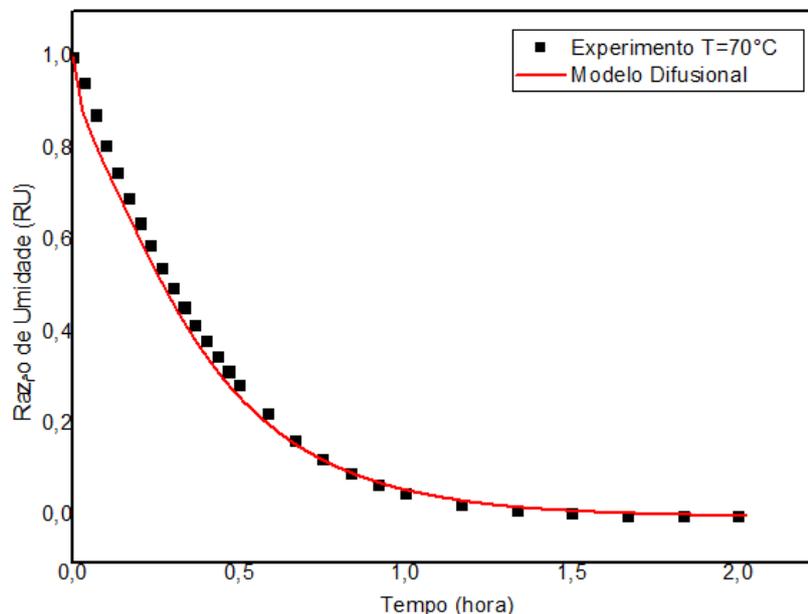
Figura 18. Modelo difusional para T=60°C



Comparando os coeficientes de difusividade efetivos apresentados na Tabela 11, nota-se um aumento deste parâmetro com a temperatura. Esse comportamento também foi observado por Silva et al (2008), Afolabi (2014) e Silva et al (2015). Isso ocorre porque o coeficiente de difusividade efetivo

representa a velocidade com que a água migra do interior do material para a superfície.

Figura 19. Modelo difusional para T=70°C



Para avaliar a influência da temperatura no coeficiente de difusão efetivo, foi utilizada a equação de Arrhenius, descrita da seguinte forma:

$$D_{ef} = D_o \exp\left(\frac{E_a}{RT_a}\right) \quad (11)$$

Em que:

$D_{ef}$ : coeficiente de difusão líquida efetiva,  $m^2/s$ ;

$D_o$ : fator pré-exponencial;

$E_a$ : energia de ativação ( $J/mol$ );

$R$ : constante universal dos gases ( $8,314 J mol^{-1} K^{-1}$ );

$T_a$ : temperatura absoluta (K).

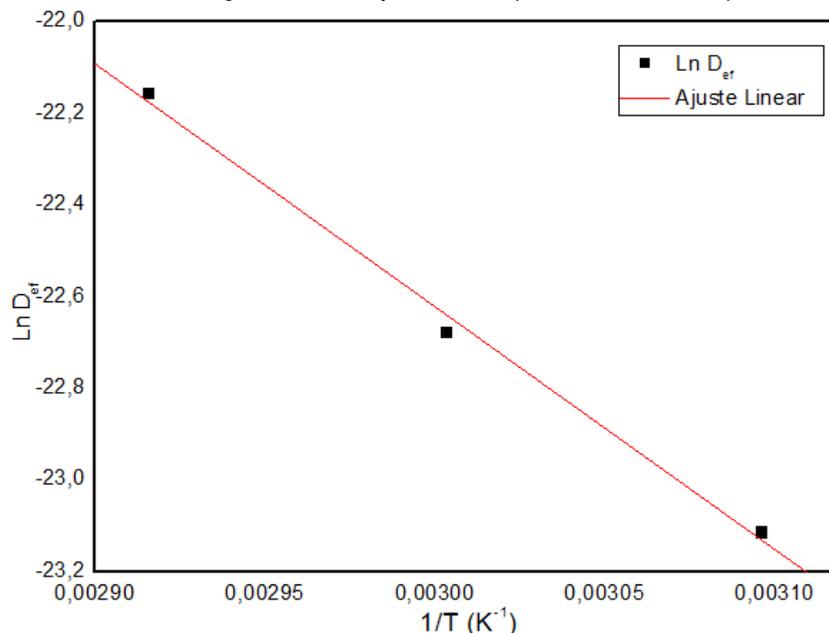
Os coeficientes da expressão de Arrhenius foram obtidos linearizando-se a Equação 11 com a aplicação do logaritmo natural, da seguinte forma:

$$\ln D = \ln D_o - \frac{E_a}{R} \frac{1}{T_a} \quad (12)$$

Pode-se observar na Figura 20a representação de Arrhenius para o coeficiente de difusão efetivo da secagem da casca do fruto do mandacaru,

demonstrando os valores de Ln D, em função do inverso da temperatura absoluta ( $K^{-1}$ ).

Figura 20. Representação de Arrhenius para o coeficiente de difusão efetivo em função da temperatura (50, 60 e 70 °C)



A relação entre os valores do coeficiente de difusão efetivo e a temperatura do ar de secagem foi satisfatoriamente descrita pela equação de Arrhenius. O valor encontrado para a energia de ativação foi de 44,05 KJ mol<sup>-1</sup>. O valor do R<sup>2</sup> para o gráfico foi 0,9954.

#### 4.4 Caracterização da casca do fruto do mandacaru após secagem

Na Tabela 10 encontram-se os parâmetros analisados para a farinha da casca do fruto do mandacaru obtida após o processo de secagem nas temperaturas de 50, 60 e 70°C.

O teor de água obtido na casca do fruto do mandacaru após a secagem apresentou uma redução de 80,31%, 81,46% e 81,86% para as temperaturas de 50, 60 e 70°C, respectivamente, em relação ao teor de água na casa do fruto do mandacaru *in natura*.

O valor de cinzas obtido na casca desidratada para as três temperaturas apresentou um valor superior quando comparado ao valor de cinzas presente

no material *in natura*. Esse aumento pode ser explicado pela perda de umidade do material no decorrer da secagem e consequente aumento dos nutrientes.

Tabela 10. Caracterização da casca do fruto do mandacaru após secagem.

<b>Parâmetros analisados</b>	<b>Média ± Desvio Padrão</b>	<b>Temperatura (°C)</b>
Teor de Água (%)	11,73 ± 1,87	50
	10,58 ± 0,84	60
	10,17 ± 0,753	70
Cinzas	7,2 ± 0,09	50
	7,78 ± 0,12	60
	8,02 ± 0,1	70
°Brix	2 ± 0	50
	2 ± 0	60
	2 ± 0	70
Acidez (% Ácido Cítrico)	10,14 ± 0,34	50
	9,59 ± 0,05	60
	9,47 ± 0,008	70
pH	3,99 ± 0,074	50
	4,04 ± 0,048	60
	4,12 ± 0,058	70
Atividade de água	0,3244 ± 0,01	50
	0,2984 ± 0,007	60
	0,2969 ± 0,0015	70
Açúcares Redutores (% em glicose)	21,61 ± 0,8	50
	21,29 ± 0,09	60
	21,55 ± 0,8	70
Compostos Fenólicos Totais (mg EAG/ 100g)	3512,57 ± 210,15	50
	4005,62 ± 242,88	60
	4395,48 ± 50,57	70
Atividade Antioxidante (µM Trolox/g de amostra)	91,06 ± 2,34	50
	99,76 ± 3,62	60
	100,5 ± 2,05	70

Observa-se que não houve influência da temperatura de secagem nos sólidos solúveis totais (°Brix) do produto final, obtendo-se os mesmos valores para todas as amostras em pó. Comparando-se o °Brix da casca do fruto do mandacaru em pó com a casca *in natura*, nota-se um aumento de 33,33%, este

comportamento era esperado em razão do processo de secagem eliminar parte da água contida nas amostras, concentrando sólidos solúveis.

Para a acidez total titulável, nota-se que com o aumento da temperatura de secagem, houve uma redução da acidez. Este fato pode ser explicado pela oxidação de ácidos orgânicos com a temperatura e quanto maior for a temperatura, maior a oxidação dos mesmos. Melo (2008), secando a polpa do fruto do mandacaru também encontrou comportamento semelhante para a mesma análise, onde as temperaturas de secagens utilizadas no seu trabalho eram 70, 80 e 90°C e os valores de acidez foram de 1,9775, 1,8507 e 1,7864, respectivamente, em % de ácido cítrico.

Verifica-se, analisando a influência da temperatura nos valores médios do pH, que, de forma geral, houve tendência de aumento deste parâmetro com o aumento da temperatura de secagem. Conforme Gava (1998), produtos desidratados quando reconstituídos ou reidratados sofrem a perda de certos constituintes, principalmente as vitaminas, refletindo nos valores do pH

Para os açúcares redutores não houve diferenças significativas entre os valores.

A redução da atividade de água de um determinado alimento é sempre um dos objetivos dos processos de secagem, reduzindo assim, os efeitos de degradação natural dos alimentos. Analisando os dados da Tabela 6, observa-se que esse objetivo foi alcançado em razão dos valores terem ido de 0,984 para o material *in natura*, para 0,3244, 0,2984 e 0,2969, para as temperaturas de 50, 60 e 70°C, respectivamente. Segundo Braga (2016), um produto com atividade de água de até 0,3 pode ser considerado um produto estável à reações de oxidação, microbiológicas e de escurecimento. De acordo com Beuchat (1981), o valor mínimo para o crescimento microbiológico é de 0,6 de atividade de água, o que favorece o crescimento de fungos, e as reações enzimáticas, diminuindo a estabilidade do produto. As atividades de água encontradas para as cascas do fruto do mandacaru secas são consideradas microbiologicamente seguras.

Não foram encontrados na literatura autores que tenham trabalhado com a secagem da casca da fruta do mandacaru, razão pela qual não obtivemos parâmetros para comparar os valores de compostos fenólicos alcançados com a secagem nas temperaturas de 50, 60 e 70°C.

Os teores de compostos fenólicos e atividade antioxidante na casca do mandacaru desidratado foram superiores em relação ao produto *in natura*.

Sousa et al. (2015) analisando os resíduos da graviola *in natura* e desidratado perceberam a concentração de 46,30 mgEAG/100g para 88,28 mgEAG/100g, respectivamente.. A justificativa dada pelos autores é que devido à retirada de água do resíduo que os outros componentes foram concentrados.

Lisboa (2017) trabalhando com a secagem em leito fixo do quiabo encontrou valores de compostos fenólicos superiores para o material seco, nas temperaturas 43°C (2013,33 mgEAG/100g) e 65°C (2206,43 mgEAG/100g) quando comparados ao material *in natura* (587 mgEAG/100g).

## 5. CONCLUSÕES

- A caracterização casca do fruto do mandacaru *in natura* permitiu conhecer o perfil físico-químico do material, com teores de Fenólicos Totais e atividade antioxidante significativos;
- O processo de secagem é uma técnica viável para processar a casca do fruto do mandacaru, visto que houve a concentração de os parâmetros avaliados, principalmente na manutenção dos fenólicos totais e manutenção da atividade antioxidante no material seco obtido;
- Ocorreu uma redução de 80,31 % , 81,46% e 81,86% para o teor de água a secagem de 50, 60 e 70°C, respectivamente em relação ao teor de água na casca do fruto do mandacaru *in natura*
- Os modelos de Page e Henderson & Pabis se ajustaram bem aos dados experimentais das secagens, podendo ser utilizados na predição das cinéticas de secagem em leito fixo da casca do fruto do mandacaru;
- O modelo de Page foi o que apresentou os melhores ajustes para as cinéticas de secagem nas três temperaturas examinadas;
- A difusividade efetiva aumentou com o aumento da temperatura do ar de secagem.
- O modelo de difusão em esfera conduziu a determinação da difusividade efetiva de  $9,17 \times 10^{-11}$ ,  $1,42 \times 10^{-10}$  e  $2,39 \times 10^{-10} \text{m}^2/\text{s}$  para as temperaturas de 50, 60 e 70°C, respectivamente, e uma energia de ativação de 44,05 KJ/mol.

## 6. SUGESTÕES

- Realizar um delineamento experimental para verificar a influência da temperatura, velocidade do ar e tempo de secagem nos parâmetros analisados
- Realizar a caracterização física do pó: diâmetro de partícula, ângulo de repouso, densidade aparente, densidade compactada, porosidade, velocidade de escoamento e granulometria;
- Verificar a aplicação em alimentos alimentícios, cosméticos ou farmacológicos
- Qualificar e quantificar os compostos fenólicos presentes na casca do mandacaru por análise em cromatografia líquida de alta eficiência

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFOLABI, T. J. **Thin Layer Drying Kinetics and Modelling of Okra (*Abelmoschus Esculentus* (L.) Moench) Slices under Natural and Forced Convective Air Drying.** Food Science and Quality, v.28, 2014.

AGUIRRE, J. M.; FILHO, J.G. **Desidratação de frutas e hortaliças.** Manual técnico. Campinas, São Paulo. Instituto de Tecnologia de Alimentos, p.80, 2002.

ALU'DATT, M.; RABABAH, T.; ALHAMAD, M. N.; ALMAHASNEH, M.; ALMAJWAL, A.; GAMMOH, S.; EREIFEJ, K.; JOHARGY, A.; ALLI, I. **A review of phenolic compounds in oil-bearing plants: Distribution, identification and occurrence of phenolic compounds.** Food Chemistry, nº 218, pg 99–106, 2017.

BARUFFALDI, R.; OLIVEIRA, M. N. **Fatores que condicionam a estabilidade de alimentos.** In: BARUFFALDI, R.; OLIVEIRA, M. N. Fundamentos de tecnologia de alimentos. São Paulo: Atheneu. v. 3, p. 13-25, 1998.

BELMIRO, T. M. C.; PEREIRA, C. F.; PAIM, A. P. S. **Red wines from South America: Content of phenolic compounds and chemometric distinction by origin.** Microc (2017), doi: 10.1016/j.microc. 2017.03.018. 2017.

BEUCHAT, L. R. Microbial stability as affected by water activity. **Cereal Foods World**, v. 26, p. 345-349, 1981.

BARREIROS, A. L. B. S.; DAVID, J. M.; DAVID, J. P. **Estresse oxidativo: relação entre gerações de espécies reativas e defesa do organismo.** Química Nova, v. 29, n. 1, p. 113-123, 2006.

BRAGA, A. V. U. **Caracterização de atividade de água e cinética de dessecção de água em alimentos.** Campinas, 159p. Dissertação (Mestrado

em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2016.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Resolução de Diretoria Colegiada - **RDC nº 218**, de 29 de julho de 2005. Dispõe sobre o Regulamento Técnico de Procedimentos Higiênico-Sanitários para Manipulação de Alimentos e Bebidas Preparados com Vegetais. Disponível em: <<https://www.saude.rj.gov.br/comum/code/MostrarArquivo.php?C=MjA0NA%2C%2C&C=MjA0NA%2C%2C>> Acessado em 03 de junho de 2018.

BROOKER, D. B.; BAKER-ARKEMA, F. W.; HALL, C. W. **Drying and storage of grains and oilseeds**. New York: AVI Book, 450p, 1992.

BROOKER, D. B.; BAKKER-ARKEMA, F. W.; HALL, C. W. **Drying Cereal Grains**. Connecticut, The AVI Publishing Company, p. 265, 1974

**CALADO, J. A.; COSTA, F. B.; PEREIRA, M. M; D.; NASCIMENTO, A. M.; FORMIGA, A. S.; SILVA, M. S. ESTUDO DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DO FRUTO DO MANDACARU (*Cereus jamacaru P.DC.*) CULTIVADO NO SERTÃO PERNAMBUCANO.** p. 1216-1219, 2016. Acessado em 06 de junho de 2018. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/320176024\\_Compostos\\_fenolicos\\_em\\_frutos\\_de\\_mandacaru\\_colhidos\\_em\\_dois\\_estadios\\_de\\_maturacao\\_e\\_submetidos\\_ao\\_hidroresfriamento](https://www.researchgate.net/publication/320176024_Compostos_fenolicos_em_frutos_de_mandacaru_colhidos_em_dois_estadios_de_maturacao_e_submetidos_ao_hidroresfriamento)

CHAVES, M. C. V.; GOUVEIA, J. P. G.; ALMEIDA, F. A. C.; LEITE, J. C. A. SILVA, F. L. H. **Caracterização físico-química do suco da acerola**. Revista de Biologia e Ciências da Terra, v. 4, n. 2, p. 1-10, 2004.

COELHO, R. R. P.; FERREIRA NETO, C. J.; FIGUERÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. **Avaliação química de sementes de mandacaru (*Cereus Jamacaru P. D.C.*)**. In: Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos, 19, 2004.

CORRÊA, J. L. G.; BRAGA, A. M. P.; HOCHHEIM, M.; SILVA, M. A. **The influence of Ethanol on the Convective Drying of Unripe, Ripe, and Overripe Bananas.** *Drying Technology*. v.30, n. 8, p. 817-826, 2012.

CRANK, J. **The Mathematics of diffusion.** 2ª Edição, 1975.

DOYMAZ, I. **Drying characteristics and kinetics of okra.** *Journal of Food Engineering* nº 69, pg. 275–279, 2005.

DOYMAZ, I. **Drying of Green Bean and Okra Under Solar Energy.** *Chemical Industry & Chemical Engineering Quarterly*, v. 17, pg.199–205, 2011.

ELIAS, M.C. **Tecnologia para armazenamento e conservação de grãos, em médias e pequenas escalas.** 3ª Ed. Editora Universitária/UFPel. 218p. 2002

ESAN, A.M.; MASIBI, K., DADA, F. A., OLAIYA, C. O. **Comparative effects of indole acetic acid and salicylic acid on oxidative stress marker and antioxidant potential of okra (*Abelmoschus esculentus*) fruit under salinity stress.** *Scientia Horticulturae*, v. 216, pg. 278–283, 2017.

EVANGELISTA, J. **Tecnologia de alimentos;** 2ª Ed. São Paulo, Rio de Janeiro, Ribeirão Preto, Belo Horizonte, p. 652, 2005.

FRANCO, T. S. **Desidratação osmótica de yacon pelo método de camada de espuma.** Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, p. 192, 2015.

GAVA, A. J. **Princípios de tecnologia de alimentos.** São Paulo: Nobel, p. 284, 1988.

HELLEVANG, K. J. **Grain drying**. North Dakota State University of Agriculture and Applied Science, 1994.

IAL. Instituto Adolfo Lutz (São Paulo). **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4ª edição, 1ª edição digital, 2008.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Brasil em Síntese - Território**. 2018. Acessado em 27 de julho de 2018. <<https://brasilemsintese.ibge.gov.br/territorio.html>>

KALINOWSKA, M.; BIELAWSKA, A.; LEWANDOWSKA-SIWKIEWICZ, H.; PRIEBE, W.; LEWANDOWSKI, W. **Apples: Content of phenolic compounds vs. variety, part of apple and cultivation model, extraction of phenolic compounds, biological properties**. Plant Physiology and Biochemistry, nº 84, pg. 169-188, 2014..

KEEY, R. B. **Moisture: solid relationships. Drying principle and practices**. Oxford, p. 19-49, 1972.

LABUZA, T. P. **Moisture sorption: practical aspects of isotherm measurement and use**. St. Paul: American Association of Cereal Chemists. p.74, 1984.

LIMA, E. E. **Produção e armazenamento da farinha de facheiro**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, p. 152, 2006.

LISBOA, V. N. F. **Compostos fenólicos e atividade antioxidante do quiabo (*Abelmoschus Esculentus* (L) Moech) em pó obtido em secador de leito fixo**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande – PB, p. 59, 2017.

MADAMBA, P. S ; DRISCOLL, R.H; BUCKLE, K. A. **Thin-layer drying characteristics of garlic slices**. Journal of Food Engineering, v.29, pg.75-97, 1996.

MAGALHÃES,S. C. Q.; TAVEIRA, M.T.; CABRITA,A. R. J.; FONSECA,A. J. M.; VALENTÃO,P.; ANDRADE,P. B. **European marketable grain legume seeds: Further insight into phenolic compounds profiles**. Food Chemistry, nº 215, pg.177–184, 2017.

MARTINAZZO, A.P.; CORRÊA, P.C.; MELO, E.C.; BARBOSA, F.F. **Difusividade efetiva em folhas de *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf submetidas à secagem com diferentes comprimentos de corte e temperaturas do ar**.Revista Brasileira Plantas Mediciniais, Botucatu, v.9, n.1, p.68-72, 2007.

MARTINS, N.; PETROPOULOS, S.; FERREIRA, I. C. F. R. **Chemical composition and bioactive compounds of garlic (*Allium sativum* L.) as affected by pre-and post- harvest conditions: A review**. Food Chemistry. v. 211. P. 41-50, 2016.

MAYTA, S. M. A.; MASSARANI, G.; PINTO, J. C., **Modeling of grain drying in continuous cross-flow sliding bed dryers**.The Canadian Journal of Chemical Engineering, v.74, p.797-805, 1996.

MEIADO, M. V.; ALBUQUERQUE, L. S. C.; ROCHA, E. A.; ROJAS-ARÉCHIGA M.; LEAL, I. R. **Seed germination responses of *Cereus jamacaru* D.C. ssp. *jamacaru* (Cactaceae) to environmental factors**.Plant Species Biology, v. 25, n. 2, p. 120-128, 2010.

MELO, K. S.; **Secagem de polpa do fruto do mandacaru**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Programa de Pós-Graduação em

Engenharia Alimentos da Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, p. 152, 2008.

MELO, K. S.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; FERNANDES, T. K. S.; BEZERRA, M. C. T. **Secagem em camada de espuma da polpa do fruto do mandacaru: experimentação e ajustes de modelos matemáticos.** Revista Caatinga, Mossoró, v. 26, n. 2, p. 10-17, 2013.

MELO, R. S.; SILVA, S. M.; SOUSA, A. S. B.; LIMA, R. P.; DANTAS, A. L.; DANTAS, R. L.; FIGUEIREDO, V. M. **Maturação e qualidade de frutos de mandacaru (*Cereus jamacaru P.DC.*) de diferentes bioclimas do estado da Paraíba.** Revista Agropecuária Técnica. v. 38, n. 3, p. 160-168, 2017.

MILLER, G. L. **Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar.** Analytical Chemistry, v.31, pg. 426-428, 1959.

NASCIMENTO, V. T.; MOURA, N. P.; VASCONCELOS, M. A. S.; MACIEL, M. I. S.; ALBUQUERQUE, U. P. **Chemical characterization of native wild plants of dry seasonal forests of the semi-arid region of northeastern Brazil.** Food Research International, v.44, p.2112-2119, 2011.

NUNES, J. **Mandacaru, um remédio paliativo.** EcoDebate –site de informações, artigos e notícias socioambientais, 2012. Acessado em 30 de junho de 2018 <<https://www.ecodebate.com.br/2012/10/22/mandacaru-um-remedio-paliativo-artigo-de-juracy-nunes/>>

OETTERER, M.; REGITANO-D'ARCE, M.A.B.; SPOTO, M.H.F. **Fundamentos de Ciência e Tecnologia de Alimentos.** Barueri, São Paulo. Manole, 2006.

OLIVEIRA, A. S.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; BRITO, J. G. **Estabilidade da polpa do *Cereus jamacaru* em pó durante o armazenamento.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.19, n.2, p.147-153, 2015.

OLIVEIRA, F. M. N.; ALEXANDRE, H. V.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; OLIVEIRA, A. R. **Características físico-químicas do fruto do mandacaru**. In: Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos, 19., 2004, Recife. Anais... Recife: SBCAT, 2004.

PARK, K. J.; BIN, A.; BROD, F. P.R. **Obtenção das isotermas de sorção e modelagem matemática para a pêra barlet (Pyrus sp.) com e sem desidratação osmótica**. Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas, v. 21, n. 1, p. 73-77, 2001.

PARK, K. J.; VOHNIKOZA, Z.; BROD, F. P. R. **Evaluation of drying parameters and desorption isotherms of garden mint leaves (Mentha crispa L.)**. Journal of Food Engineering, Davis, v.51, n.3, p.193-199, 2002.

PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; ARRANZ S.; TABERNERO, M.; DÍAZ RUBIO, E.; SERRANO, J.; GOÑI, I.; SAURA-CALIXTO, F. **Updated methodology to determine antioxidant capacity in plant foods, oils and beverages: Extraction, measurement and expression of results**. Food Research International, Darking, v. 41, n. 3, p. 274–285, 2008.

PRADO, A. **Composição fenólica e atividade antioxidante de frutas tropicais**. Dissertação (Dissertação em Ciência e Tecnologia dos Alimentos). São Paulo Escola Superior de Agricultura “Luiz Queiroz”, Piracicaba, p. 107, 2009.

REZENDE, L. C. **Avaliação da atividade antioxidante e composição química de seis frutas tropicais consumidas na Bahia**. Tese (Doutorado em Química). Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2010

RICHARDSON, J.F.; HARKER, J.H.; BACKHURST, J.R. **Coulson and Richardson’s Chemical Engineering – Particle Technology and Separation Processes**, 5a ed., vol. 2, 2002..

ROMERO-PEÑA, L. M.; KIECKBUSCH, T. G. **Influência de condições de secagem na qualidade de fatias de tomate.** Brazilian Journal of Food Technology, Campinas, v.6, n.1, p.69-76, 2003.

RUFINO, M. do S.M; ALVES, R. E.; BRITO, E. de S.B.; MORAIS, S.M. de ; SAMPAIO, C. de G.; PÉREZ-JIMÉNES,J.; SAURACALIXTO, F.D. **Metodologia Científica: Determinação da Atividade Antioxidante Total em Frutas pela Captura do Radical Livre ABTS•+** .Comunicado Técnico online, Julho, Fortaleza, 2007.

SHISHIR, M.R.I., CHEN, W. **Trends of spray drying: A critical review on drying of fruit and vegetable juice.** *Trends in Food Science & Technology*, doi: 10.1016/j.tifs.2017.05.006. 2017.

SILVA, A. C da. **Potencial de resíduos agroindustriais como fontes de compostos bioativos.** Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Alimentos). Universidade Estadual Paulista Júlio Mesquita Filho. São Jose do Ribeirão Preto, 2014.

SILVA, A. O.; FILHO, A. M.; SILVA, J. A. S.; GORGONIO, C. R.; SILVA, C. M.; **Caracterização físico – química da polpa e casca de frutos do mandacará (*cereus jamacaru*).** In: Encontro Nacional de Educação, Ciência e Tecnologia/UEPB. Campina grande, v.1, n.1, 2012.

SILVA, E. F. M da. **Modelos empíricos e difusivos para a descrição da secagem de bananas.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Paraíba, 2013.

SILVA, L.A.; RESENDE, O.; VIRGOLINO, Z.Z.; BESSA, J.F.V.; MORAIS, W.A.; VIDAL, V.M. **Cinética de secagem e difusividade efetiva em folhas de jenipapo (*Genipa americana* L.).** Revista Brasileira de Plantas Mediciniais, Campinas, v.17, n. 4, p. 953-963, 2015

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

SILVA, M. L. C.; COSTA, R. S.; SANTANA, A. S.; KOBLITZ, M. G. B. **Compostos fenólicos, carotenóides e atividade antioxidante em produtos vegetais**. Semina: Ciências Agrárias, v.31, n.3, p.669-682, 2010.

SILVA, W. P.; CAVALCANTI MATA, M. E. R. M.; SILVA, C. P. S.; GUEDES, M.; LIMA, A. G. B. **Determinação da difusividade e da energia de ativação para feijão macassar (*Vigna unguiculata (L.) walp.*), variedade sempre-verde, com base no comportamento da secagem**. Revista Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.28, n.2, p.325-333, 2008.

SOUZA, L. C.; BOMFIM, M. P.; SILVA, M. V.; PORTO, J. S. **Compostos fenólicos e atividade antioxidante de polpa e resíduos de graviola**. In: Congresso Brasileiro de Processamento mínimo e Pós-colheita de frutas, flores e hortaliças, Anais 01, Aracaju-SE, 2015.

TAYLOR, N.; ZAPPI, D. **Cacti of eastern Brazil**. Kew:Royal Botanic Gardens, 2004.

TELES, A. S. C. **Estudo Da Secagem Do Bagaço De Uva Visando À Sua Utilização Como Ingrediente Na Formulação De Barras De Cereais**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, Rio de Janeiro, 2014.

TOSATO, P. G. Influência do etanol na secagem da maçã Fuji. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Lavras. Programa de Pós Graduação em Engenharia de Alimentos, Lavras, 2012.

TREYBAL, R. E. **Mass transfer operations**. 3ª edição, New York. McGraw-Hill Book Company, 1968.

VAN ARSDEL, W.B.; COPLEY, M.J.; MORGAN, A.I. **Drying phenomena.** *Food dehydration: drying methods and phenomena.* Westport: Avi Publishing Company, cap. 22, p. 22-57, 1973.

VIEIRA, L. M.; SOUSA, M. S. B.; MANCINI-FILHO, J.; LIMA, A. **Fenólicos totais e capacidade antioxidante *in vitro* de polpas de frutos tropicais.** *Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal - SP, v. 33, n. 3, p. 888-897, 2011.*

Waterhouse, A. **Folin-ciocalteau micro method for total phenol in wine.** *American Journal of Enology and Viticulture, p. 3-5, 2006.*

WINK, M. **Secondary Metabolites, the Role in Plant Diversification.** *Academic press: Encyclopedia of Evolutionary Biology.* Ed 11, 213p, 2016.