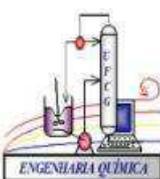


	<p>Universidade Federal de Campina Grande - UFCG</p> <p>Centro de Ciências e Tecnologia - CCT</p> <p>Unidade Acadêmica de Engenharia Química - UAEQ</p> <p>Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química - PPGEQ</p>	
---	--	---

**RAQUEL ALVES DE LUNA DIAS**

**EFEITO DA SECAGEM EM LEITO DE JORRO SOBRE A  
EXTRAÇÃO DE FENÓIS E TANINOS TOTAIS DA CASCA DA  
ROMÃ (*Punica granatum*, L.)**

Tese apresentada ao Programa de Pós –  
Graduação em Engenharia Química (PPGEQ)  
da Universidade Federal de Campina Grande  
(UFCG), em cumprimento aos requisitos e a  
estrutura curricular do programa.

Prof.a. Dra Líbia de Souza Conrado,  
Orientadora (UFCG/CCT/UAEQ/LEB)

Prof.a. Dra Odelsia Leonor Sanchèz de  
Alsina, Orientadora (UNIT - SE)

CAMPINA GRANDE  
2015

S163e

Dias, Raquel Alves de Luna.

Efeito da secagem em leito de jorro sobre a extração de fenóis e taninos totais da casca da romã / Raquel Alves de Luna Dias. – Campina Grande, 2015.

130 f.: il. color.

Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia, 2015.

"Orientação: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Líbia de Souza Conrado, Odelsia Leonor Sánchez de Alsina".

Referências.

1. Secagem. 2. Leito de jorro. 3. Romã. 4. Fenóis totais. 5. Taninos totais I. Conrado, Líbia de Souza. II. Alsina, Odelsia Leonor Sánchez de. III. Título.

CDU 631.563.2:634.64(043)

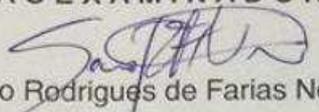


**PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA TESE  
DA ALUNA RAQUEL ALVES DE LUNA DIAS**

**TÍTULO:** Efeito da secagem em Leito de Jorro sobre a Extração de Fenóis e Taninos Totais da Casca de Romã

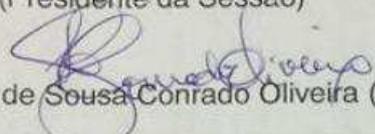
**COMISSÃO EXAMINADORA**

**CONCEITO**

  
Prof. Severino Rodrigues de Farias Neto (Doutor)

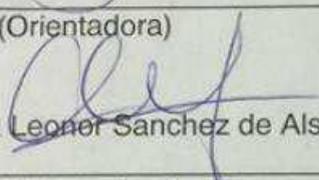
Aprovado

(Presidente da Sessão)

  
Prof.<sup>a</sup>. Líbia de Sousa Conrado Oliveira (Doutora)

APROVADA

(Orientadora)

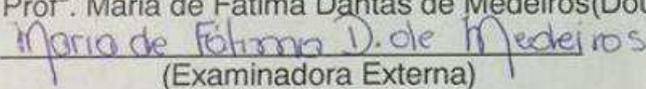
  
Prof.<sup>a</sup>. Odelsia Leonor Sanchez de Alsina (Doutora)

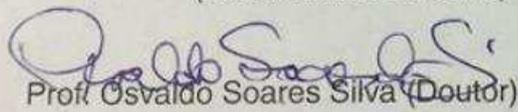
APROVADA

(Orientadora)

Prof.<sup>a</sup>. Maria de Fátima Dantas de Medeiros (Doutora)

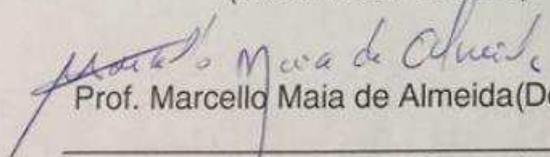
Aprovada

  
(Examinadora Externa)

  
Prof. Osvaldo Soares Silva (Doutor)

APROVADO

(Examinador Externo)

  
Prof. Marcelo Maia de Almeida (Doutor)

Aprovado

(Examinador Externo)

Campina Grande, 21 de dezembro de 2015

RAQUEL ALVES DE LUNA DIAS

EFEITO DA SECAGEM EM LEITO DE JORRO SOBRE A EXTRAÇÃO DE FENÓIS  
E TANINOS TOTAIS DA CASCA DA ROMÃ (*Punica granatum*, L.)

DEFESA DE TESE, AVALIADA EM: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

EXAMINADORES:

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Líbia de Souza Conrado  
UAEQ/UFCG  
(Orientadora)

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Odelsia Leonor Sánchez de Alsina  
UNIT - SE  
(Orientadora)

---

Prof. Dr Severino Rodrigues de Farias Neto  
UAEQ/UFCG  
Examinador Interno

---

Prof. Dr. Marcello Maia de Almeida  
UEPB  
Examinador Externo

---

Prof. Dr. Osvaldo Soares Silva  
UATA/UFCG  
Examinador Externo

CAMPINA GRANDE – PB  
Dezembro, 2015

Dedico à minha mãe Olivia Alves de Luna que foi chamada por Deus no meio da minha caminhada para o doutoramento. Me olha de onde estiver, é pela senhora e para a senhora.

## AGRADECIMENTOS

À Deus, pela fortaleza que Ele é na minha vida, por me guiar, me iluminar e me proporcionar forças para enfrentar todas as etapas e me reerguer depois da grande queda sofrida no meio do desenvolvimento deste trabalho.

À meu avô Antônio Manoel de Luna, meu exemplo de integridade, pai presente e parceiro, por todo amor e dedicação ao longo da minha vida. À minha avó/mãe, meu anjo no céu, Olivia Alves de Luna por sempre apoiar as minhas decisões, mulher guerreira que me ajudou a construir o meu “eu”. À minha mãe Wilma Alves de Luna que torce pelas minhas conquistas. À meu padrasto Jorge Guilherme Gomes de Medeiros que tantas vezes foi ao laboratório comigo à noite e nos fins de semana, que me ajudou na compra das romãs para o trabalho e tantas vezes nos consertos dos equipamentos, muito obrigada, você merece um terço do título. À minha tia Verônica Alves de Luna, pessoa mais prestativa que conheço em minha vida, dona do maior e mais lindo coração que alguém pode ter. À meu tio Walmir Alves de Luna e a Joaquina por me ajudar à despolpar zilhões de romãs quando meus dedos doentes não agüentavam mais. À Nilson Bezerra por toda parceria e companheirismo que dedica à minha tia Verônica, fazendo assim com que ela se mantenha de pé e me transmita mais e mais forças. À minha priminha Amanda, criatura mais inteligente que conheço por me deixar toda faceira quando diz que quer chegar onde estou e que sirvo de espelho para a sua caminhada profissional. À minha filha de pêlos (Mãe) pelo companheirismo mais lindo que já experimentei. AMO DEMAIS TODOS VOCÊS!

Às Prof<sup>as</sup>. Dr<sup>as</sup>. Odelsia Leonor Sánchez de Alsina e Prof<sup>as</sup>. Dr<sup>as</sup>. Líbia de Sousa Conrado pela orientação, COMPREENSÃO, FORÇA e presença em todas as etapas do trabalho. Deus as abençoe infinitamente.

À Priscila, Samuel (meu anjo sem asas), Wanda, Rebeca e Eliari, companheiros do laboratório, pelo auxílio nos experimentos e por estarem sempre dispostos a ensinar.

Aos Professores Drs. Maria de Fátima, Marcello Maia, Severino Neto e Osvaldo Soares que fizeram parte da minha banca de qualificação e contribuíram imensamente para o melhoramento do trabalho. Jesus os abençoe infinitamente.

Aos integrantes do LEB “ A Grande Família” pelos socorros nas horas de precisão

Aos Professores da Unidade Acadêmica de Engenharia Química e a coordenação do programa de Pós-graduação em Engenharia Química, especialmente ao professor Luís pela orientação acerca da parte burocrática nestes últimos meses.

Às amigas Nina, Franciely, Luciana e Shirlene, aos “feras CPUC 2000” e a “elite do povo de Roma” que de forma indireta sempre me ajudaram durante esta caminhada.

A CAPES pela concessão da bolsa de doutorado.

"Embora ninguém possa voltar atrás e fazer um novo começo, qualquer um pode começar agora e fazer um novo fim."

Francisco Cândido Xavier

Aquele que habita no esconderijo do Altíssimo, à sombra do Onipotente descansará.  
Direi do Senhor: Ele é o meu Deus, o meu refúgio, a minha fortaleza, e nele  
confiarei.

Porque ele te livrará do laço do passarinho, e da peste perniciosa.  
Ele te cobrirá com as suas penas, e debaixo das suas asas te confiarás; a sua  
verdade será o teu escudo e broquel.

Não terás medo do terror de noite nem da seta que voa de dia,  
Nem da peste que anda na escuridão, nem da mortandade que assola ao meio-  
dia.

Mil cairão ao teu lado, e dez mil à tua direita, mas não chegará a ti.  
Somente com os teus olhos contemplarás, e verás a recompensa dos ímpios.  
Porque tu, ó Senhor, és o meu refúgio. No Altíssimo fizeste a tua habitação.

Nenhum mal te sucederá, nem praga alguma chegará à tua tenda.  
Porque aos seus anjos dará ordem a teu respeito, para te guardarem em todos  
os teus caminhos.

Eles te sustentarão nas suas mãos, para que não tropeces com o teu pé em  
pedra.

Pisarás o leão e a cobra; calcarás aos pés o filho do leão e a serpente.  
Porquanto tão encarecidamente me amou, também eu o livrarei; pô-lo-ei em  
retiro alto, porque conheceu o meu nome.

Ele me invocará, e eu lhe responderei; estarei com ele na angústia; dela o  
retirarei, e o glorificarei.

Fartá-lo-ei com longura de dias, e lhe mostrarei a minha salvação.

[Salmos 91:1-16](#)

## RESUMO

A produção de frutas no Brasil está em torno de 33 milhões de toneladas por ano. A romã (*Punica granatum*, L.) é uma fruta originária da região do Oriente Médio. Não nativa, porém, cultivável em solo brasileiro, a árvore cresce em regiões áridas, sendo encontrada largamente no sertão paraibano. A produção da fruta se dá no período de setembro a fevereiro. A casca da fruta apresenta, em sua composição, compostos fenólicos destacando-se os taninos. Os taninos são compostos polifenólicos, distribuídos em plantas, alimentos e bebidas. Estes compostos têm peso molecular relativamente elevado, são solúveis em água e apresentam potencial antioxidante e anti-inflamatório. As indústrias farmacêuticas têm um particular interesse pelos extratos vegetais secos, por apresentarem melhor precisão na dosagem, facilidade de manuseio, transporte e armazenagem e por manterem a estabilidade química, microbiológica e farmacológica do produto. A presente tese trata da secagem de cascas trituradas de romã in natura em secador de leito de jorro. Frente a outros tipos de secadores o leito de jorro é considerado de baixo custo de aquisição, fácil instalação e operação, constituindo-se uma alternativa a ser considerada na secagem e obtenção do extrato seco da casca da romã. O extrato seco pode ser utilizado pelas indústrias de alimentos, químicas e principalmente farmacêuticas como fonte de compostos fenólicos na produção de fitoterápicos. A secagem no leito de jorro valoriza o caráter inédito deste trabalho, uma vez que na literatura os trabalhos de secagem neste tipo de secador se referem tradicionalmente a leitos de partículas de conformidade homogênea em relação ao tamanho e forma, como grãos e sementes com umidades intermediárias e a secagem de pastas e suspensões de alta umidade sobre leito de partículas inertes. Foi realizado o estudo prévio da caracterização do material e do comportamento fluidodinâmico do leito através da obtenção das curvas características de queda de pressão em função da vazão do ar com obtenção dos parâmetros relativos a estabilidade do leito. Os parâmetros queda de pressão máxima e nas condições de jorro estável e velocidade de jorro mínimo aumentaram com a altura do leito e com o teor de umidade das cascas, observando-se importante influência das mudanças nas características das partículas devido à secagem no comportamento fluidodinâmico do leito. Foram obtidas as curvas de secagem no leito de jorro das cascas trituradas para uma carga correspondente a altura do leito de 15 cm e em três níveis de temperatura 50, 65 e 80°C, mantendo-se a vazão de ar 20% superior a vazão de jorro mínima determinada nos ensaios

fluidodinâmicos. Foi observada importante influência da temperatura nas curvas de secagem com redução expressiva do tempo para atingir o equilíbrio na temperatura de 80°C (cerca de 30 minutos). Os modelos cinéticos empíricos de secagem, de Henderson e Pabis e de Page se ajustaram bem aos dados experimentais da razão de umidade em função tempo. Para se avaliar a extração em água de fenóis e taninos presentes nos extratos secos foram realizados experimentos de secagem com base em um planejamento experimental 2<sup>2</sup> com três repetições no ponto central e mais quatro pontos axiais tendo como variáveis independentes a temperatura (44, 50, 65, 80 e 86°C e a altura do leito (8, 10, 15, 20 e 22 cm). O processo de extração com água se deu na temperatura de 30°C sob agitação, os extratos passaram por reação com o agente complexante Folin Denis, sendo determinadas por espectrofotometria as concentrações de fenóis e taninos totais. O rendimento de fenóis e taninos totais variou de 52 a 82% e de 31 à 58 % respectivamente. O planejamento experimental forneceu modelos estatisticamente significativos e preditivos para os rendimentos em função das variáveis independentes sendo encontrada a condição ótima para a secagem e posterior extração dos princípios ativos: temperatura de 50°C e altura do leito de 20 cm

Palavras Chave: Secagem, Leito de Jorro, Romã, Fenóis Totais, Taninos Totais.

## ABSTRACT

Fruit production in Brazil is around 33 million tons per year. Pomegranate (*Punica granatum*, L.) is a native fruit of the Middle East region. Non-native, however, arable on Brazilian soil, the tree grows in arid regions and is widely found in the backlands of Paraíba, the production of the fruit takes place from September to February. The fruit has, in its composition, phenolic compounds highlighting the tannins. Tannins are polyphenolic compounds distributed in plants, foods and beverages with a relatively high molecular weight which are soluble in water with special anti-inflammatory and antioxidant potential. The pharmaceutical companies have a vested interest in the dry plant extracts, since they have better dosing accuracy, ease of handling, transport and storage, as well as favoring the maintenance of chemical, microbiological and pharmacological stability. It is emphasized in this paper the drying process in a spouted bed as a good alternative to the use of pomegranate rind. The spouted bed dryer is easy to install, low cost and simple operation compared to other dryers. This process enables waste pomegranate are subsequently used in the food, chemical and pharmaceutical especially since the phenolic compounds present in pomegranate peel are a source of raw material for the production of herbal medicines. Initially there was the lifting of the characteristic curves and elaborated an experimental design with three replications 22 at the center point and four axial points for drying and subsequent extraction of phenolic compounds. Pomegranate peels in nature crushed were dried in a spouted bed at temperatures of 44, 50, 65, 80 and 86°C and feedstock with varying according to the height of bed 8, 10, 15, 20 and 22 cm, as defined in experimental planning. Was given to work with the further extraction process with water in 30°C temperature and under stirring, extracts passed through reaction with Folin Denis and complexing agent were read in a spectrophotometer at 760nm and 725nm bands for total phenols and tannins respectively. The experimental results allowed investigate the response variables: income total phenols and tannins. The yield of total phenols and tannins ranged from 52 to 82% and 31 to 58% respectively. The experimental design provided statistically significant and predictive models. An optimum condition for drying and subsequent extraction of the active ingredients found: 50°C temperature and bed height 20 cm.

Keywords: Drying, Spouted bed, Pomegranate, Total Phenols, Tannins Totals

## LISTA DE TABELAS

Tabela 01– Matriz experimental dos ensaios de secagem. Configuração $2^2 + 3$ pontos centrais + 4 pontos axiais.....	77
Tabela 02 – Características físicas da casca da romã ( <i>Punica granatum</i> ) triturada seca e in natura.....	84
Tabela 03 – Velocidade mínima de jorro.....	90
Tabela 04 – Queda de Pressão Máxima $\Delta P_{mx}$ (Pa).....	92
Tabela 05.– Umidade de equilíbrio dinâmica.....	93
Tabela 06 - Atividade de água.....	95
Tabela 07 – Modelos ajustados aos dados de secagem da casca de romã em leito de jorro.....	97
Tabela 08– Rendimento de fenóis totais e taninos totais extraídos sob condições de secagem do planejamento experimental.....	102
Tabela 09 - Análise de variância para as variáveis resposta rendimento de Fenóis e Taninos Totais no Extrato Seco.....	107

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Esquema geral de preparação de formas farmacêuticas derivadas de plantas medicinais (Rocha et al, 2006).....	37
Figura 02– Romã (Punica Granatum L).....	39
Figura 03 – Estrutura química dos taninos.....	47
Figura 04–Curva teórica de secagem de plantas medicinais, Hornok (1992).....	53
Figura 05– Diagrama Esquemático do Leito de Jorro Tradicional Rocha et. al (2006).....	55
Figura 06– Diagrama de Geldart. Modificado de (Silva, 1996).....	57
Figura 07– Curva característica da queda de pressão versus velocidade do ar (Fonte: Mathur & Epstein, 1974).....	59
Figura 08 – Fluxograma de trabalho.....	68
Figura 09 – Frutos in natura adquiridos na fazenda boa fruta , Petrolina – PE.....	69
Figura 10 – Despulpagem e preparação para acondicionamento em geladeira.....	70
Figura 11 – Casca seca triturada .....	70
Figura 12– Sistema para reumidificação.....	70
Figura 13 – Amostra reumidificada.....	70
Figura 14 – Imagem com escala gráfica.....	71
Figura 15 – Determinação da densidade aparente.....	72
Figura 16 – Determinação da densidade real.....	73
Figura 17 – Plataforma para medida do ângulo de repouso, Souza (2009).	75
Figura 18 – Esquema Experimental do Secador de Leito de Jorro, adaptado de Rocha (2006).....	76
Figura 19 – Incubadora SHAKER.....	79
Figura 20 – Amostras submetidas à agitação.....	79
Figura 21 – Extratos brutos.....	79
Figura 22 – Extrato seco.....	79
Figura23 – Curva de calibração para fenóis totais.....	81

Figura 24 – Curva de calibração para taninos totais.....	81
Figura 25– Extrato seco diluído.....	82
Figura 26– Amostras prontas para leitura .....	82
Figura 27 – Espectrofotômetro, utilizado para a leitura das absorbâncias das amostras.....	82
Figura 28– Histograma de distribuição do tamanho das partículas.....	85
Figura 29–Diagrama simplificado mostrando a classificação das partículas segundo seu comportamento durante a fluidização em ar (Geldart 1973).....	85
Figura 30 – Queda de Pressão no leito de jorro em função da velocidade do ar de entrada.....	88
Figura 31 – Cinética de secagem nas temperaturas de 50, 65 e 80 °C da casca de romã triturada, H=15 cm, X= 73%.....	93
Figura 32 - Taxas de secagem em função das umidades em base seca .....	94
Figura 33 – Ajuste ao modelo de Page para a Temperatura de 50°C.....	99
Figura 34 – Ajuste ao modelo de Page para a Temperatura de 65°C.....	99
Figura 35 – Ajuste ao modelo de Page para a Temperatura de 80°C.....	100
Figura 36 – Ajuste ao modelo de Henderson & Pabis para a Temperatura de 50°C.....	100
Figura 37 – Ajuste ao modelo de Henderson & Pabis para a Temperatura de 65°C.....	101
Figura 38 – Ajuste ao modelo de Henderson & Pabis para a Temperatura de 80°C.....	101
Figura 39– Diagrama de Pareto dos efeitos das variáveis independentes sobre a variável resposta Rendimento de Fenóis Totais no extrato seco.....	105
Figura 40 – Diagrama de Pareto dos efeitos das variáveis independentes sobre a variável resposta Rendimento de Taninos Totais no extrato seco.....	106
Figura 41 – Superfície de resposta do rendimento de Fenóis Totais no extrato seco em função da Temperatura do ar de secagem e Altura do leito de jorro.....	108
Figura 42 – Superfície de resposta do rendimento de Taninos Totais no extrato seco em função da Temperatura do ar de secagem e Altura do leito de jorro.....	108



## NOMENCLATURA

A	Altura do leito
$a_w$	Atividade de água, [ - ]
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
CIM	Concentração inibitória mínima
$d_p$	Diâmetro da Partícula
$D_L^*$	Coefficiente de Difusão do Líquido
DPPH	1,1- difenil -2- picrilhidrazil
$\epsilon$	Porosidade
HDL	High Density Lipoprotein
HDR	Hamamelidae, Dilleniidae e Rosidae
HIV	Vírus da imunodeficiência humana
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Peróxido de Hidrogênio
HRBC	
IgE	Imunoglobulina E
LDL	Low Density Lipoprotein
$m_f$	Massa final da amostra, [ g ]
$m_i$	Massa inicial da amostra, [ g ]
OMS	Organização Mundial da Saúde
P	Queda de pressão, [ Pa ]
Pa	Pascal
Pgfp	
PIQ	Padrões de Qualidade e Identidade
$P_{jes}$	Queda de pressão na condição de jorro estável, [Pa]
$P_{m\acute{a}x}$	Queda de pressão máxima, [Pa]
PPE	
PPO	polifenol oxidase
UFCEG	Universidade Federal de Campina Grande
UV	Ultra-violeta
UV/VIS	Ultravioleta visível
RU	Razão de Umidade
T	Tempo, [ min ou s ]
T	Temperatura [°C]
$T_{amb}$	Temperatura ambiente, [°C]
V	Velocidade [ m/s ]
V	Volume
$V_{jm-}$	Velocidade Mínima de Jorro
$V_{mj}$	Velocidade de jorro mínimo, [m/s]
v/v	
W	Vazão de alimentação, [m <sup>3</sup> /h]
$X_0$	Teor de Água Inicial
$X_\infty$	Umidade em equilíbrio
$X_{bs}$	Umidade em base seca, [%]
$X_{bu}$	Umidade em base umida, [%]
$X_i$	Umidade Inicial
R	Rendimento, [%]
$\rho$	densidade [ g/cm <sup>3</sup> ]

$\rho_{ap}$	densidade aparente [ g/cm <sup>3</sup> ]
$\rho_p$	Densidade da Partícula
$\varphi_R$	Ângulo de repouso, [ -]
$\Delta P_{jm}$	Perda de carga no Jorro Mínimo
$\Delta P_{Max}$	Queda máxima de Pressão

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	21
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	24
2.1 PLANTAS MEDICINAIS E FITOTERAPIA .....	24
2.2 ROMÃ .....	28
2.2.1 Propriedades antimicrobianas .....	30
2.2.2 Atividade hipoglicêmica .....	31
2.2.3 Atividade antioxidante.....	31
2.2.4 Atividade anti-neoplásica .....	32
2.2.5 Atividade estrogênica .....	33
2.2.6 Outras atividades .....	33
2.2.7 Toxidade e alergia .....	33
2.3 SECAGEM .....	34
2.3.1 Fundamentos e Cinética de Secagem .....	34
2.3.2 Secagem de plantas medicinais .....	38
2.3.3 Leito de Jorro .....	42
2.3.3.1 Classificação de Partículas .....	44
2.3.3.2 Ângulo de Repouso ( $\varphi_R$ ).....	45
2.3.3.3 Curvas Características .....	46
2.4 SUBSTÂNCIAS FENÓLICAS E TANINOS .....	49
2.5 TÉCNICAS DE EXTRAÇÃO DE PRINCÍPIOS ATIVOS EM PLANTAS .....	52
2.6 ESPECTROFOTOMETRIA.....	53
2.6.1 Espectrofotometria no Ultravioleta Visível.....	54
3 ESTADO DA ARTE.....	56
4 MATERIAIS E MÉTODOS .....	66
4.2 AQUISIÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA .....	66
4.3 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS .....	67
4.4 CARACTERIZAÇÃO.....	68
4.4.1 Granulometria .....	69
4.4.2 Densidade aparente.....	71
4.4.3 Densidade real .....	72
4.4.4 Porosidade .....	72
4.4.5 Cinzas .....	73
4.4.6 Umidade .....	73
4.4.7 Determinação do pH.....	74

4.5 MEDIDAS DO ÂNGULO DE REPOUSO DINÂMICO .....	74
4.6 CURVAS CARACTERÍSTICAS .....	74
4.7 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL FATORIAL.....	76
4.8 SECAGEM .....	77
4.9 EXTRAÇÃO DOS FENÓIS E TANINOS TOTAIS .....	78
4.9.1 Obtenção dos extratos brutos.....	78
4.9.2 Determinação quantitativa dos teores de fenóis totais e taninos totais nos extratos .....	79
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	84
5.1 CARACTERIZAÇÃO DA CASCA DA ROMÃ SECA E IN NATURA TRITURADA .....	84
5.2 CURVAS CARACTERÍSTICAS– ESTUDO PARA AS CONDIÇÕES IDEAIS DE SECAGEM .....	87
5.3 CINÉTICA DE SECAGEM EM LEITO DE JORRO.....	93
5.4 MODELAGEM DOS DADOS DE SECAGEM DAS CASCAS DE ROMÃ NO LEITO DE JORRO.....	96
5.5 DETERMINAÇÃO DO RENDIMENTO DE FENÓIS TOTAIS E TANINOS TOTAIS .....	102
5.5.1 Efeitos da secagem da casca da romã sobre a extração de fenóis totais e taninos totais .....	104
6 CONCLUSÃO.....	111
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	112
Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas...Erro! Indicador não definido.	
Print version ISSN 1516-9332.....Erro! Indicador não definido.	
Rev. Bras. Cienc. Farm. vol.43 no.1 São Paulo Jan./Mar. 2007 .....	Erro! Indicador não definido.

---

# Capítulo I

---

## CAPÍTULO I

### 1 INTRODUÇÃO

O tema proposto para o trabalho de tese foi escolhido baseado em estudos anteriores, desenvolvidos no Laboratório de Meios Porosos e Sistemas Particulados do Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal de Campina Grande.

As indústrias farmacêuticas têm um especial interesse pelos extratos vegetais secos, uma vez que as formas farmacêuticas sólidas apresentam precisão de dosagem, facilidade de manuseio, transporte e armazenagem, além de favorecerem a manutenção da estabilidade química, microbiológica e farmacológica. A secagem em leito de jorro proporciona excelente grau de mistura e efetivo contato entre fluido e sólido, resultando em altas taxas de transferência de calor e massa entre as fases, proporcionando assim rapidez no processo. Os secadores de leito de jorro são caracterizados por apresentarem baixo custo e pela facilidade de operação.

A extração dos princípios ativos das plantas medicinais se dá pela importância no contexto da medicina atual, da crescente utilização da fitoterapia, como método terapêutico, empregado por diversas especialidades médicas, com incentivo da Organização Mundial da Saúde (OMS). Enfatizam-se também as questões econômicas relativas ao baixo preço de comercialização dos medicamentos naturais, principalmente frente aos fármacos sintéticos produzidos pelos grandes laboratórios multinacionais e aos importados.

A casca da romã apresenta em sua composição compostos fenólicos dentre eles os taninos. Jardini et. al (2007) demonstraram que os compostos fenólicos da romã apresentam influência sobre fatores biológicos, como a atenuação de fatores aterogênicos, modulação das respostas antiinflamatórias e de enzimas do sistema de defesa antioxidante endógeno. Também os taninos extraídos da casca da romã tiveram atividade inibitória das enzimas oxidantes. Werkman (2008) observou que a punicalagina, um tanino elágico derivado do fruto da romanzeira, é provavelmente um dos principais constituintes antimicrobianos desta fruta.

A literatura aponta a romã *Punica Granatum L.* como uma planta com grande potencial para prevenir e combater várias doenças. A análise da literatura permite concluir que entre várias propriedades da romã, há destaque para a propriedade antimicrobiana e antiinflamatória. É enfatizada a possibilidade de emprego nas

infecções hospitalares devido à resistência bacteriana aos antibióticos convencionais. O uso tem despertado interesse na odontologia e em especialidades médicas e veterinárias. Sendo uma planta não-nativa, porém cultivável, certamente o uso da romã poderá despertar o interesse das indústrias farmacêuticas e de gêneros alimentícios. O uso da romã pode ser realizado de forma relativamente simples sem comprometimento das propriedades antioxidante, hipoglicemiante, redutor de colesterol, atividade antivirótica, anti-helmíntica, antifúngica, antibacteriana, preventiva de câncer, reparação de feridas e com atividade estrogênica. Os princípios ativos preencheriam as recomendações da OMS quanto ao uso de fontes naturais de baixo custo para tratamento de doenças. Diante do exposto, o estudo da extração dos princípios ativos da romã contribuirá de forma bastante significativa para a comunidade científica.

O ineditismo do trabalho se dá pela metodologia utilizada, uma vez que não foram encontrados trabalhos relacionados à secagem das cascas de romã em leito de jorro, bem como a escolhas dos parâmetros (temperaturas e alturas do leito), adotados para matriz experimental durante a secagem e extração dos princípios ativos.

O trabalho realizado teve como objetivo o estudo do efeito da secagem em leito de jorro da casca de romã (*Punica granatum L.*) sobre a extração dos seus princípios ativos e como objetivos específicos, o desenvolvimento das seguintes etapas:

- Caracterização da amostra;
- Realização de estudos acerca da estabilidade fluidodinâmica de modo a definir as faixas de condições de operação.
- Estudo da influência das variáveis de processo: temperatura do ar de secagem e altura do leito sobre a extração de fenóis e taninos totais;
- Estudo da secagem em leito de jorro;
- Extração dos princípios ativos, a partir da casca fresca e seca, sob as diversas condições de operação;
- Análise estatística tendo como fatores de entrada as variáveis de operação na secagem e de resposta o rendimento na extração dos fenóis e taninos totais;
- Avaliação dos modelos estatísticos;
- Definição das melhores condições de operação visando o maior rendimento de fenóis e taninos totais.

---

# Capítulo II

---

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 PLANTAS MEDICINAIS E FITOTERAPIA

As plantas medicinais correspondem ao método mais usado pelos antigos no tratamento de doenças de todos os tipos, ou seja, a utilização de plantas na prevenção e/ou na cura de enfermidades. É um hábito que sempre existiu na história da humanidade. Assim, a fitoterapia é encarada como opção na busca de tratamentos terapêuticos, utilizada principalmente pela população de baixa renda, já que se trata de uma alternativa eficiente, barata e amplamente conhecida. Apesar das pesquisas científicas que visam à validação do uso de plantas serem relativamente recentes, as práticas populares relacionadas ao seu uso são o que muitas comunidades têm como alternativa para o tratamento de doenças ou manutenção da saúde (OLIVEIRA; ARAÚJO, 2007). A fitoterapia evoluiu e o conhecimento sobre o poder curativo das plantas não pode mais ser considerado apenas como tradição passada entre gerações familiares, mas como ciência que vem sendo estudada, aperfeiçoada e aplicada ao longo dos tempos.

Segundo a Resolução da Diretoria Colegiada no. 48/2004 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA, fitoterápicos são medicamentos preparados exclusivamente com plantas ou partes de plantas medicinais (raízes, cascas, folhas, flores, frutos ou sementes), que possuem propriedades reconhecidas de cura, prevenção, diagnóstico ou tratamento sintomático de doenças, validadas em estudos etnofarmacológicos, documentações tecnocientíficas ou ensaios clínicos de fase (VASCONCELOS et. al., 2010)

Com o desenvolvimento da ciência e da tecnologia, as plantas medicinais estão tendo seu valor terapêutico pesquisado e ratificado pela ciência e vem crescendo sua utilização recomendada por profissionais de saúde. A necessidade exige e a ciência busca a unificação do progresso com aquilo que a natureza oferece, respeitando a cultura do povo em torno do uso de produtos ou ervas medicinais para curar os males. Plantas medicinais sempre foram utilizadas, sendo no passado o principal meio terapêutico conhecido para tratamento da população, ARNOUS et al (2005).

A partir do conhecimento e uso popular, foram descobertos alguns medicamentos utilizados na medicina tradicional, entre eles estão os salicilatos e digitálicos, FIRMO et al (2011)

Na América Latina, em especial nas regiões tropicais, existem diversas espécies de plantas medicinais de uso local, com possibilidade de geração de uma relação custo-benefício bem menor para a população, promovendo saúde a partir de plantas produzidas localmente LÓPEZ, (2006).

O conhecimento e uso das plantas medicinais têm sido aplicado, baseado em algumas variáveis sociais. As plantas medicinais apresentam eficácia, baixo risco de uso, assim como reprodutibilidade e constância de sua qualidade. Entretanto, devem ser levados em conta alguns pontos para formulação dos fitoterápicos, necessitando do trabalho multidisciplinar, para que a espécie vegetal seja selecionada corretamente, o cultivo seja adequado, a avaliação dos teores dos princípios ativos seja feita e para que a manipulação e a aplicação na clínica médica ocorram. O aproveitamento adequado dos princípios ativos de uma planta exige o preparo correto, ou seja, para cada parte a ser usada, grupo de princípio ativo a ser extraído ou doença a ser tratada, existem formas de preparo e uso mais adequados, ARNOUS et al (2005)

Também Arnous et al (2005) afirmam que os efeitos colaterais são poucos na utilização dos fitoterápicos, desde que utilizados na dosagem correta. A maioria dos efeitos colaterais conhecidos, registrados para plantas medicinais, são intrínsecos à preparação e estão relacionados a diversos problemas de processamento, tais como identificação incorreta das plantas, necessidade de padronização, prática deficiente de processamento, contaminação, substituição e adulteração de plantas, preparação e/ou dosagem incorretas. Brandão et al (1998), como exemplo de avaliação de qualidade quanto aos contaminantes, investigou amostras de camomila (*Matricaria recutita*) obtidas em farmácias, ervarias e mercados. Somente cerca de metade das amostras apresentaram os constituintes dos óleos essenciais, necessários à atividade antiinflamatória da planta. Os resultados com a camomila indicam a precariedade com que as plantas medicinais e os fitoterápicos vêm sendo comercializados e confirmam a necessidade urgente de vigilância destes produtos no Brasil. Tradicionalmente utiliza-se a associação de ervas medicinais em formulações, que devem ser administradas com critério e sob orientação, porque as ervas apresentam muitas vezes efeitos farmacológicos similares, podendo potencializar suas ações, CRUZ (2009).

Os medicamentos alopáticos podem ser associados aos fitoterápicos, mediante acompanhamento de um profissional da área de saúde, lembrando que podem potencializar os efeitos de alguns medicamentos alopáticos. As informações técnicas

ainda são insuficientes para a maioria das plantas medicinais, de modo a garantir qualidade, eficácia e segurança de uso das mesmas (LÓPEZ, 2006).

A fitoterapia desenvolveu-se na segunda metade do século XX, com um grande número de farmacêuticos e médicos, que se dedicaram à pesquisa e à utilização de amplo recurso, que nossa flora dispunha, além de contar com vários laboratórios especializados na produção de fitoterápicos. Com o surgimento da química moderna, os laboratórios internacionais que detinham esta tecnologia passaram a comandar o mercado, inclusive absorvendo a maior parte dos laboratórios nacionais e substituindo a produção de fitoterápicos por medicamentos alopáticos (PACHÚ, 2007).

A palavra fitoterapia é formada por dois radicais gregos: fito vem de phyton, que significa planta, e terapia vem de therapia, que significa tratamento, ou seja, tratamento em que se utilizam plantas medicinais. A palavra fitoterapia foi criada para designar tradições populares de tratamento, nas quais as plantas medicinais são usadas como medicamento. Então, é considerado fitoterápico toda preparação farmacêutica como extratos, tinturas, pomadas e cápsulas que utilizam como matérias primas às partes de plantas, como folhas, caules, raízes, flores e sementes, com conhecido efeito farmacológico SILVA et al,( 2004). Os produtos fitoterápicos estão relacionados com qualquer exploração tecnológica e econômica de vegetais empregados na preservação, no tratamento, na cura de distúrbios, disfunções ou doenças do homem e animais. Atualmente, há o reconhecimento de que as plantas medicinais possuem ação curativa sobre o ser humano. É a presença de substâncias ativas produzidas pelo metabolismo secundário da planta, que ajudam a explicar a ação da planta sobre o organismo humano Silva (2002). Algumas dessas substâncias podem ou não ser tóxicas, isto depende muito da dosagem em que venham a ser utilizadas. Segundo Simões et al., (2003), planta medicinal é aquela que contém um ou mais de um princípio ativo que lhe confere atividade terapêutica. Ainda, segundo Simões et al. (2003), metabolismo é o nome dado ao conjunto de reações químicas que ocorrem continuamente nas células e, os produtos químicos produzidos podem ser divididos em dois grupos: metabólitos primários e secundários. Os primários são essenciais a todos os seres vivos e incluem os lipídios, proteínas e glicídios. Já o metabolismo secundário é o resultado de complexas interações entre biossíntese, transporte, estocagem e degradação onde, cada um desses processos é governado por genes e, será influenciada pelo fator hereditariedade, ontogenia (estágio de desenvolvimento) e ambiente explicando dessa maneira a grande variedade de plantas medicinais existentes. Na Figura 01 pode-se visualizar a origem de

todos os metabólitos secundários que podem ser resumidos a partir do metabolismo da glicose, via dois intermediários principais, o ácido chiquímico e o acetato.

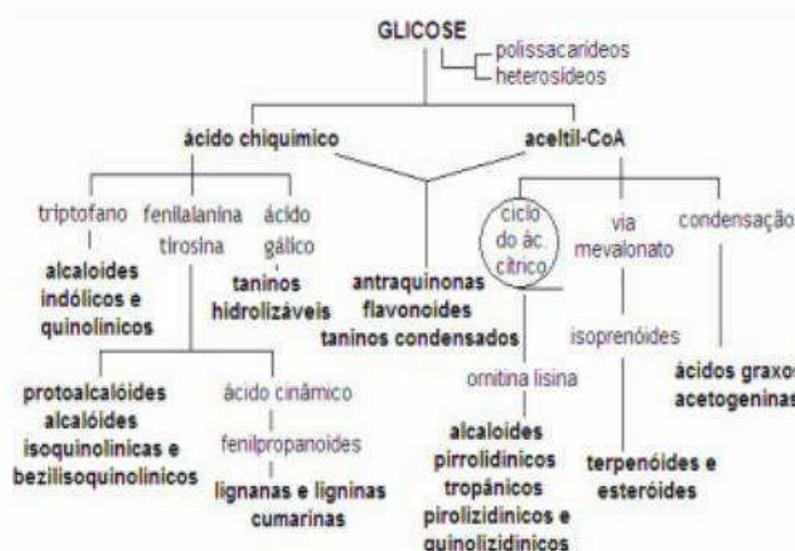


Figura 01 – Esquema geral de preparação de formas farmacêuticas derivadas de plantas medicinais (Rocha et al, 2006)

Nem sempre os princípios ativos de uma planta são conhecidos, mas mesmo assim ela pode apresentar atividade medicinal satisfatória e ser usada desde que não apresente efeito tóxico (MARTINS, 1992). Existem vários grupos de princípios ativos comumente encontrados em vegetais que apresentam atividades terapêuticas: – Alcalóides: atuam no sistema nervoso central como calmante, sedativo, estimulante, anestésico e analgésico, sendo que alguns podem ser cancerígenos e outros antitumorais. – Mucilagens: tem ação cicatrizante, antiinflamatório, laxativo, expectorante e antiespasmódico. – Flavonóides: com ação antiinflamatória e fortalecedora dos vasos capilares, antiesclerótico, anti-dematoso, dilatador de coronárias, espasmolítico, antihepatotóxico, colerético e antimicrobiano. – Taninos: efeito adstringente, antimicrobiano, antioxidante e antidiarréico. – Óleos essenciais: Possuem ação bactericida, antivirótico, cicatrizante, analgésico, relaxante, expectorante e antiespasmódico, Pereira (2012)

A biodiversidade de nossos vegetais constitui uma riqueza potencial para a saúde humana. Até 2007, apenas 1% das espécies vegetais conhecidas da terra foram estudadas e várias delas estão sendo dizimadas num ritmo alarmante, com uma redução crescente de grande parte desta biodiversidade, ocorrerá também uma

enorme perda científica e econômica, principalmente para os países menos desenvolvidos que são os detentores da maior parte das reservas vegetais do mundo. Nos últimos anos novamente foi despertado o interesse pelo uso das plantas medicinais, e hoje é cada vez mais crescente a busca de fitoterápicos, que atuem como uma alternativa terapêutica eficaz, de baixo custo, e com menores efeitos colaterais, PACHÚ (2007)

A fitoterapia ressurge como uma opção medicamentosa bem aceita e acessível aos povos de todo o planeta. É tecnicamente apropriada e satisfaz as necessidades locais de centenas de municípios brasileiros. A utilização da fitoterapia chega a obter uma economia em torno de 300% na produção própria de medicamentos fitoterápicos cientificamente comprovados. É extremamente importante o desenvolvimento de investigação do uso popular de plantas medicinais. A difusão e pesquisa dos fitoterápicos devem ser amplamente incentivadas e incorporadas aos sistemas de saúde (ELDIN; DUNFORD, 2001).

Em um futuro bem próximo aparecerão princípios ativos de grande utilização na terapêutica devido ao grande aumento dos estudos com as plantas medicinais.

## 2.2 ROMÃ

A romãzeira, *Punica Granatum* L. (*P.granatum*), é um arbusto lenhoso, ramificado, da família *Punicaceae*, nativa da região que abrange desde o Irã até o Himalaia, a noroeste da Índia (Figura 02). Tem sido cultivada há muito tempo por toda a região Mediterrânea da Ásia, América, África e Europa. Apresenta folhas pequenas, rijas, brilhantes emembráceas, flores vermelho alaranjada disposta nas extremidades dos ramos, originando frutos esféricos, com muitas sementes em camadas as quais se acham envolvidas em arilo polposo (LORENZI; SOUZA, 2001; FERREIRA, 2004). A romã é citada em várias tradições.



Figura 02 - Romã (*Punica Granatum L*)

É encontrada na mitologia, na arte egípcia, no antigo testamento e no Talmude da Babilônia (LANGLEY, 2000; NEURATH et al., 2004). Para os gregos representava vida, renascimento e indissolubilidade do casamento. Na Pérsia antiga foi usada em rituais de Zoroastro (LANGLEY, 2000).

No budismo, a romã representa a essência de influências favoráveis. No Japão, ela é conhecida como Kishimojin, usada para estimular a fertilidade. Na China e no Islamismo a romã tem um papel como símbolo de fertilidade e abundância. No Cristianismo, representa ressurreição, vida eterna e fertilidade (LANGLEY, 2000). O mesmo autor relatou que a romãzeira tem sido considerada sagrada pelas principais religiões do mundo, e que várias partes da planta apresentam propriedades medicinais, com potencial para tratar grande variedade de doenças.

Os preparos obtidos da romãzeira (flor, fruto e casca da árvore) são popularmente usados para tratar vários problemas de saúde, predominantemente gastrintestinais. O suco é usado contra úlceras na boca e genitálias, alivia dores de ouvido, é utilizado no tratamento de dispepsia, disenteria e benéfico contra a lepra. As flores são usadas para tratamento da gengiva, prevenindo a perda dentária; possuem atividade adstringente e hemostática e servem para o tratamento de diabetes mellitus. Os brotos das flores, secos e pulverizados, são usados para a bronquite (LANGLEY, 2000).

No México, é usada para diarreia, aftas, parasitismo, abscessos, tosse, angina, inflamação urinária e injúrias da pele (NAVARRO et al., 1996).

Existem poucos estudos etnobotânicos, de farmacognosia e toxicológicos suficientes para elucidar os mecanismos de ação e efeitos dos constituintes químicos

derivados da romã. Somente recentemente observou-se que a punicalagina, um tanino elágico derivado do fruto da romanzeira, é provavelmente um dos principais constituintes antimicrobianos desta fruta (MACHADO et al., 2003). As informações não têm sido bem absorvidas pela medicina ortodoxa e ainda são vistas com certa discriminação pelo meio científico (JASSIM; NAJI, 2003).

### 2.2.1 Propriedades antimicrobianas

Jiménez Misas et al. (1979) analisaram extratos aquosos, alcoólicos e cetônicos das folhas e caule das plantas de várias famílias para avaliar as propriedades antibacterianas e verificaram que o extrato de *P. granatum* apresentou os melhores resultados, inibindo mais de 50% do crescimento bacteriano.

Anesini e Perez (1993), avaliando 132 extratos de plantas usadas na medicina popular na Argentina em atividades antimicrobianas, observaram que o pericarpo do fruto de *P. granatum* produziu extratos ativos que inibiram o crescimento de *S. aureus* (amostras resistentes à penicilina G), *E. coli* e *Aspergillus niger*.

Hukkeri et al. (1993) avaliaram a atividade anti-helmíntica do extrato aquoso da casca da fruta de *P. granatum*, para *T. solium*, *A. galli* e *Pheritima posthuma*. Os resultados mostraram que a atividade anti-helmíntica foi 5-7 vezes mais potente que a substância padrão para estes casos (citrate de piperazina), provavelmente relacionada aos taninos e carboidratos presentes.

Guevara et al. (1994) avaliaram o efeito *in vitro* de diversas plantas entre elas a *P. granatum* popular no Peru para o tratamento da diarreia e vibrião da cólera. A infusão de chá e decocção de casca de *P. granatum* apresentaram o melhor efeito bactericida.

Perez e Anesini (1994) verificaram que o pericarpo da fruta de *P. granatum* produz um dos extratos mais ativos contra *S. typhi* (agente responsável pela febre tifóide). A ampicilina e o cloranfenicol não apresentaram efeito clínico no tratamento da doença, e a vacina não ofereceu proteção total. Os autores sugerem o uso dos extratos ativos da romã como conservantes em alimentos e medicamentos, prevenindo a contaminação e proliferação da *S. typhi*.

Navarro et al. (1996) observaram que o extrato metanólico da casca de *P. granatum* apresentava atividade antimicrobiana contra *S. aureus*, *E. coli*, *P. aeruginosa* e *Candida albicans*, na concentração de até 10mg mL<sup>-1</sup>.

Devilla et al. (1999) analisaram as atividades antimicrobianas de 35 temperos tradicionais indianos. As sementes de romã apresentaram alta atividade antimicrobiana contra o grupo de microrganismos testados (*B.subtilis*, *E.coli*, *S.cerevisiae*). Os resultados também sugerem o uso tradicional de temperos em conservantes de alimentos, desinfetantes e anti-sépticos.

Nimri et al. (1999) estudaram a ação de extratos etanólicos obtidos de 15 plantas da medicina tradicional do Oriente Médio, observaram que três plantas, dentre elas a *P. granatum*, foram consideradas de amplo espectro de atividade antibacteriana. Extratos da casca da *P. granatum* inibiram todas as espécies bacterianas testadas, tanto Gram + (*B. cereus*, *S. aureus*, *S. epidermidis*, *S.pyogenes*, *E. faecalis*) quanto Gram - (*E. coli*, *K.pneumoniae*, *P. vulgaris*, *P. aeruginosa*, *S.dysenteriae*, *Y. enterocolitica*) WERKMAN et. al (2008).

### 2.2.2 Atividade hipoglicêmica

Pereira (1997) observou que o extrato etanólico do epicarpo da *P. granatum* age na inibição da absorção intestinal de glicose. A atividade hipoglicêmica observada não depende da liberação ou potencialização da insulina. O extrato interferiu na glicemia de ratos tratados com insulina e inibe a hiperglicemia em ratos tratados com aloxane. Jafri et al. (2000) estudaram o efeito de flores da *P. granatum* na redução do nível de glicose sanguínea em ratos normais e diabéticos. Os resultados mostraram que a administração oral do extrato aquoso-etanólico (50%, v/v) da planta reduziu a taxa de glicose sanguínea. O extrato da planta baixou o nível de glicose após 1 hora de administração e aumentaram a tolerância à glicose em ratos normais, inibindo a hiperglicemia. Das et al. (2001) avaliaram a atividade hipoglicêmica de extrato metanólico da semente de *P. granatum* em ratos diabéticos induzidos por estreptozocina, que causou, após 12 horas, redução significativa nos níveis sanguíneos de glicose, WERKMAN et. al (2008).

### 2.2.3 Atividade antioxidante

Aviram et al. (2000) analisaram em homens saudáveis e em ratos com aterosclerose o efeito do suco de romã sobre a oxidação da lipoproteína; quimiotaxia de macrófagos, agregação plaquetária, e aterosclerose. Os resultados demonstraram que em humanos, o consumo de suco de romã diminui a suscetibilidade, a agregação e a retenção de LDL e aumentou a atividade de paraoxanase no soro. Nos ratos, a oxidação

de LDL por macrófagos peritoneais foi reduzida até 90% o que foi associado com a redução da peroxidação lipídica celular e a liberação de superóxido. Além disso, o suco de romã reduziu o tamanho das lesões ateroscleróticas a 44% em ratos e diminuiu o número de macrófagos espumados. Fuhrman e Aviram (2001) fizeram uma revisão a respeito do efeito antioxidativo dos flavonóides. Os estudos mais recentes comprovam que diferentes grupos de flavonóides e taninos presentes no suco de romã inibem a oxidação de LDL, *in vitro* e *in vivo*. Além de reduzir a capacidade de macrófagos oxidarem LDL, a administração do suco da fruta reduziu e atenuou o desenvolvimento de lesões ateroscleróticas em ratos. Noda et al. (2002) avaliaram as atividades antioxidantes do extrato acetônico da *P. granatum* e das três importantes antocianidinas presentes na fruta (delfinidina, cianidina, e pelargonidina). O extrato de romã apresentou atividade contra radicais hidroxilas (OH<sup>-</sup>) e superóxido (O<sub>2</sub>). Afaq et al. (2003) observaram que extratos da romã apresentavam vários polifenóis e antocianidinas e que suas atividades antioxidantes eram mais altas que as do vinho tinto e do chá verde, WERKMAN et al (2008).

#### 2.2.4 Atividade anti-neoplásica

Kim et al. (2002) avaliaram *in vitro* o potencial terapêutico coadjuvante e preventivo de polifenóis obtidos da romã contra o câncer de mama humano. Foram utilizados sucos fermentados, extrato aquoso do pericarpo e óleo da semente de romã para a obtenção de amostras ricas em polifenóis. Os polifenóis do suco fermentado, do pericarpo e do óleo da semente bloquearam a atividade endógena de biossíntese de estrógenos, e apresentaram efeito de inibição da proliferação de alguns tipos celulares. Os polifenóis do suco fermentado da romã inibiram em 47% a formação de lesão cancerosa induzida. Hora et al. (2003) avaliaram os efeitos preventivos do óleo de semente de romã a 5% no câncer de pele induzido em ratas, que promoveu significativa diminuição da incidência do tumor. Os resultados apontaram o alto potencial do óleo como um agente quimio preventivo efetivo contra o câncer de pele. Toi et al. (2003) verificaram bons resultados na participação de extratos de romã na inibição da angiogênese, que é um processo crítico para o desenvolvimento e progressão do câncer. Mehta e Lansky (2004) verificaram as propriedades quimio preventivas de extratos da fruta em cultivo de glândulas mamárias de ratos. Observaram que o óleo da semente e uma fração do extrato purificado do suco da fruta inibiram de 75 a 90% a formação de

lesão na ação de agentes carcinogênicos. Kohno et al. (2004) observaram que o óleo da semente da romã inibiu a carcinogênese induzida por azoximetano administrado subcutâneamente em cólon de ratos, WERKMAN et. al (2008).

#### 2.2.5 Atividade estrogênica

Van Elswijk et al.(2004) com base no interesse pela ação dos estrógenos naturais na prevenção de várias doenças, incluindo o câncer, realizaram um trabalho buscando a identificação dos compostos presentes na romã, identificando três fitoestrógenos, ainda não reportados. Mori-Okamoto et al. (2004) relataram que a romã apresenta fitoestrogênicos tais como estradiol, estriol e estrone, com atividade estrogênica em ratas. Na administração do extrato do fruto ou das sementes, em ratas ovariectomizadas, simulando menopausa, observaram a manutenção do pesouterino e metabolismo ósseo normal, pela diminuição da reabsorção, evidenciado pela análise histomorfométrica e radiográfica, WERKMAN et. al (2008).

#### 2.2.6 Outras atividades

Das et al. (1999) evidenciaram a eficácia do extrato metanólico obtido de sementes de *P.granatum* no tratamento da diarreia, que nos países em desenvolvimento é doença grave, que pode levar a mortalidade e morbidade. O extrato da planta inibiu diversos modelos de diarreia em ratos. Ross et al. (2001) observaram em coelhos que a casca da fruta pulverizada administrada oralmente, em suspensão aquosa (100 mg kg<sup>-1</sup>), estimulava os componentes do sistema imune humoral mediado por células. Os resultados evidenciaram aumento na concentração de anticorpo contra antígeno tifóide-H e aumento da inibição da migração leucocitária. Murthy et al. (2004) observaram morfológicamente que a aplicação do gel contendo extrato metanólico da casca da romã seca na cicatrização dérmica de ratos, acelerava a reparação em cerca de 7 dias em relação ao grupo controle, WERKMAN et. al (2008).

#### 2.2.7 Toxicidade e alergia

Fontenele et al. (1988) avaliaram a toxicidade de nove plantas medicinais na atividade antibiótica da sobrevivência do microcrustáceo *Artemia salina* Leach. A *P.*

granatum, sob a forma de extrato aquoso da casca do fruto, levou a morte total das artêmias, sugerindo que a concentração inibitória mínima (CIM) estava acima da concentração letal média (LC50). Gaig et al. (1992) avaliaram uma criança asmática de 7 anos de idade que, momentos depois da ingestão de grande quantidade de sementes de romã, apresentou um quadro clínico de bronco espasmo e respondeu positivamente ao tratamento pela inalação de salbutamol. Testes cutâneos evidenciaram que se tratava de um caso de alergia a *P. granatum*. Gaig et al. (1999) publicaram três casos de pacientes que apresentaram alergia a *P. granatum*. Detectaram a presença de uma proteína de baixo peso molecular (29 KdA) que se ligava a IgE, presente no soro dos três pacientes. Tripathi e Singh (2000) demonstraram que ao extrato etanólico da casca de *P. granatum* é fonte potencial de moluscocida botânico. A casca e o tronco de *P. granatum* contém inúmeros alcalóides pertencentes ao grupo da piridina, que são os responsáveis pela sua atividade moluscocida. Cerda et al. (2003) promoveram a administração oral sucessiva de altas doses de elagitanina punicalagina, um dos princípios ativos de romã, em ratos por 37 dias. Os resultados mostraram a ausência de efeitos tóxicos no período. Vidal et al. (2003) estudaram a toxicidade dos extratos hidroalcoólicos da romã, ministrado em embriões de pintos. Concluíram que os efeitos tóxicos dos extratos de *P. granatum* ocorrem em doses mais elevadas do que as consideradas para determinar atividade antiviral utilizadas, WERKMAN et al. (2008).

## 2.3 SECAGEM

### 2.3.1 Fundamentos e Cinética de Secagem

Neste tópico apresenta-se um resumo sobre os fundamentos de secagem tomando como base os livros clássicos de operações unitárias, Perry e Green (1997), Foust et al. (1982) e McCabe e Smith (2001), e a literatura mais específica de secagem, Strumillo e Kundra (1986), Keey (1992), Mujumdar (1995).

A secagem é um dos métodos mais antigos que se tem conhecimento na conservação de alimentos. Sua utilização, ainda que de forma empírica, há séculos, ou mesmo milênios têm permitido ao homem retardar a deterioração de produtos biológicos, por períodos variáveis, após sua maturidade fisiológica. Na secagem de um produto qualquer há transferência de massa e de energia, seja por condução, convecção ou radiação, ou por uma combinação desses processos.

A secagem artificial vem sendo utilizada como alternativa viável para diversos tipos de plantas. A cinética de secagem visa à compreensão do mecanismo e dimensionamento de secadores e fornece informações sobre o comportamento de um material frente a diferentes condições, possibilitando ajustes de equações que podem auxiliar no entendimento do fenômeno de transferência de massa (CORDEIRO; OLIVEIRA, 2005).

A transferência de massa no processo de secagem pode processar-se por vários mecanismos no interior do material. Os mecanismos mais difundidos na literatura são a difusão de água no estado líquido ou vapor e a migração capilar de água líquida sob a ação da tensão superficial (pressão capilar). O estudo do mecanismo que governa o processo é feito pela análise de dados experimentais ou utilizando modelos matemáticos. O processo que apresentar maior resistência à transferência é o que predomina.

No período de taxa constante a secagem ocorre pela difusão do vapor a partir da superfície saturada do material e através de uma película de ar estagnado para o ambiente. O movimento da umidade dentro do sólido é suficientemente rápido para manter a condição de saturação na superfície, e a velocidade da secagem é controlada pela velocidade de transferência de calor para a superfície evaporante. A velocidade de transferência de massa equilibra a de calor e a temperatura da superfície saturada permanece constante. O sólido está tão úmido que existe uma película contínua de líquido sobre toda a superfície de secagem. A resistência na camada limite controla a transferência de massa e a taxa de evaporação independe da umidade do sólido. Se o sólido é não poroso o líquido evaporado é essencialmente o que recobre sua superfície. Nos sólidos porosos a maior parte da evaporação provém do interior do mesmo. Na maioria dos processos de secagem o líquido evaporado é a água e o gás de secagem é o ar atmosférico.

No final do período de taxa constante a superfície do material começa a secar até que a condição de existência do filme de saturação já não é mais mantida. Como consequência, tem-se o primeiro período de taxa decrescente. Como era de se esperar, os fatores que controlam ambos os períodos, taxa constante e primeiros períodos de taxa decrescentes estão relacionados com o fornecimento de água para a superfície do material e a taxa de evaporação através do filme estacionário. Portanto, as variáveis que

influenciam a transferência de massa no período de taxa constante e primeiro período de taxa decrescente são, além da estrutura do material, a velocidade, a temperatura e umidade do ar de secagem e a umidade inicial do sólido.

O ponto em que termina o período a taxa constante (ponto crítico), marca o instante em que a água líquida que está sobre a superfície é insuficiente para manter uma película contínua que cubra toda a área de secagem. Para sólidos não porosos o ponto crítico é alcançado quando se evapora a umidade superficial e para sólidos porosos quando a velocidade de fluxo de umidade para a superfície é insuficiente para igualar a taxa de evaporação requerida para manter as condições de saturação na superfície.

O período de taxa decrescente inicia-se a partir da condição em que a superfície do sólido deixa de estar totalmente coberta por água. Isto acontece quando a umidade crítica é alcançada. Para valores de umidade superior ao valor da umidade crítica pode-se dizer que existe suficiente quantidade de água na superfície do sólido para manter um filme de saturação. A umidade crítica é aquela a partir da qual a taxa de secagem passa do período de taxa constante para o período de taxa decrescente.

Durante o segundo período de taxa decrescente a superfície do sólido encontra-se seca, portanto a evaporação tem lugar no interior do material. Neste caso, o vapor alcança a superfície por difusão molecular. Uma vez que a difusão de vapor no interior da partícula controla o segundo período de taxa decrescente, este período não é susceptível às mudanças nas condições externas da partícula.

Estudos e análises de curvas de secagem e determinação do teor de água permitem entender e visualizar melhor o processo de secagem, bem como escolher o procedimento, o tratamento, o equipamento e a temperatura adequada para se realizar a desidratação de uma fruta, para melhor qualidade sensorial e tecnológica (OLIVEIRA et al., 2002). O conhecimento do teor inicial e final (equilíbrio) de água do material e da relação da água com a estrutura sólida e do transporte da água do interior do material até a sua superfície possibilitam fundamentar o processo de secagem (FANG et al., 2009). A complexidade dos fenômenos, existentes durante a secagem, conduz os pesquisadores a proporem numerosas teorias e múltiplas fórmulas empíricas para prever a taxa de secagem.

No processo de secagem o transporte de massa em um meio sólido é amplamente explicado através da Lei de Fick expressa em termo de gradiente de umidade. Um dos primeiros estudiosos a interpretar o processo de secagem como um fenômeno difusivo foi (LEWIS 1921). (SHERWOOD 1939), confirmou que a difusão interna de um líquido predomina nos mecanismos internos de transferência de umidade.

Para expressar o mecanismo de difusão à velocidade de transferência de umidade, recorre-se a Lei de Fick, que para geometria de placa plana e transferência de calor unidirecional, pode ser escrita por:

$$\frac{dX}{dt} = D_L^* \frac{\partial^2 X}{\partial x^2} \quad (3.1)$$

Onde:

$D_L^*$  é o coeficiente de difusão do líquido.

Como muitos sólidos alteram suas características durante a secagem,  $D_L^*$  raramente é constante. Para esta equação, além das condições de contorno deve-se conhecer as características de  $D_L^*$ . Devido à heterogeneidade apresentada pelos sólidos porosos costuma-se expressar a Lei de Fick em termos de um coeficiente de difusão efetivo.

(SHERWOOD 1939) desenvolveu muitas pesquisas sobre a operação de secagem de sólidos, propondo que o movimento da umidade num sólido ocorre pelo mecanismo de difusão em fase líquida, e que a Lei de Fick pode ser aplicada para prever a velocidade do movimento da umidade, expressa como:

$$\frac{\partial X}{\partial t} = D_{ef} \frac{\partial^2 X}{\partial x^2} + \frac{q}{X} \frac{\partial X}{\partial x} \quad (3.2)$$

A Equação 3.2 apresenta várias soluções para geometrias diferenciadas: plana ( $q = 0$ ), cilíndrica ( $q = 1$ ) e esférica ( $q = 2$ );

Para placa plana:  $\psi = L$

Modelos semiteóricos para secagem em camada fina são, geralmente, derivados da simplificação de uma solução em série da segunda Lei de Fick. É o caso do modelo de Henderson e Pabis que corresponde ao primeiro termo da solução em

série da segunda Lei de Fick, Doymaz, (2005). De acordo com Akpinar (2006), os vários modelos existentes devem ser testados para condições de secagem específicas. Os modelos de Henderson e Pabis, Exponencial e de Page mais utilizados para alimentos em geral (sementes, frutos, cascas, folhas), estão descritos pelas Equações 3.4, 3.5 e 3.6, respectivamente:

$$= ( ) \quad (3.4)$$

$$= ( ) \quad (3.5)$$

$$= ( ) \quad (3.6)$$

em que: t = tempo de secagem, (minutos); k = constante de secagem (min.<sup>-1</sup>); n e C representam os parâmetros dos modelos, RU = razão de umidade dada por:

$$RU = \frac{X - X_0}{X_0 - X_0} \quad (3.7)$$

em que: X = teor de água em um tempo t, X = teor de água de equilíbrio e X<sub>0</sub> = teor de água inicial, todos em base seca.

### 2.3.2 Secagem de plantas medicinais

Segundo Hertwig (1986), citado por Martins (2000), a alta sensibilidade do princípio biologicamente ativo, e a sua preservação no produto final, são os maiores problemas na secagem e armazenamento de plantas medicinais e aromáticas. As Farmacopéias Britânica, Egípcia, Belga, Espanhola, Suíça, Americana e Russa recomendavam, desde a década de 70, a faixa de temperatura ótima para secagem como sendo entre 55 - 60° C, utilizando o método de secagem em estufa com circulação forçada de ar.

Balbaet al.(1974), analisando o efeito de diferentes métodos de secagem (ao sol, à sombra e em três faixas de temperatura do ar em estufa: 55 a 60° C; 90 a 95° C e 120 a 125° C) na qualidade e conteúdo em glicosídeos, concluíram que as menores perdas em componentes químicos foi na secagem em estufa, na faixa de temperatura de 55 a 60° C. Em diversos trabalhos desenvolvidos, a secagem artificial resultou em um maior rendimento em óleo e/ou maior concentração do componente ativo.

A secagem é a etapa mais importante no processo de pós-colheita, pois se a umidade em excesso não for retirada do produto, este estará sujeito à atividade de

microorganismos causadores de deterioração. Além disso, a secagem possibilita o consumo em qualquer época do ano e em regiões onde não há como as plantas serem cultivadas, pois a baixa umidade permite o armazenamento e acondicionamento em embalagens, possibilitando a comercialização.

Segundo Martins (2000), a secagem ao sol de plantas medicinais e aromáticas é um processo totalmente desaconselhado, pois pode ocorrer o processo de fotodecomposição resultando na degradação dos componentes químicos, além de provocar alterações de odor, cor e sabor.

As plantas apresentam diferentes quantidades de água em diferentes órgãos: sementes de 5 a 10%, folhas 60 a 90%, raízes e rizomas 70 a 85% e nas flores e frutos carnosos de 80 a 90% (BORSATO, 2003).

Algumas atividades metabólicas (processos enzimáticos, auto-oxidação, escurecimento não-enzimático), atividade bacteriana e fúngica não cessam quando são separadas partes da planta durante a colheita, sendo dependentes do conteúdo de água na planta. Por isso, é importante que a secagem se inicie o mais rápido possível após a colheita, prevenindo a deterioração do material coletado (HORNOK, 1992).

O conteúdo de água na planta pode ser classificado de acordo com o modo como a água se encontra ligada e sua retirada pela secagem (HORNOK, 1992):

Água ligada quimicamente: possui uma alta energia de ligação com as macromoléculas (proteínas, carboidratos) formando a monocamada e mantendo a sua integridade estrutural. A remoção acontece somente com a destruição do material, portanto, não é removida pela secagem.

Água ligada físico-quimicamente: pode estar ligada por adsorção e osmoticamente.

A primeira possui energia de ligação mais alta e não pode ser retirada com a secagem. A água ligada osmoticamente apresenta propriedade similar a uma solução concentrada, ocupa poros e capilares, não interage diretamente com a superfície das macromoléculas e pode ser retirada parcialmente. Água ligada mecanicamente: a água apresenta propriedade similar à solução diluída e é considerada água livre. Encontra-se situada superficialmente e nos macrocapilares e é removida mais facilmente. A remoção acontece em diferença de concentração e de temperatura (a água migra de lugares de maior quantidade para os de menor quantidade de água e de lugares mais quentes para os mais frios, por movimento térmico das moléculas).

A taxa de secagem depende da temperatura e do fluxo de ar no secador, sendo que quanto maior a temperatura e fluxo de ar, mais rapidamente se processa a secagem. Se a temperatura e o fluxo de ar forem muito altos, a taxa de secagem supera a taxa de migração da água e os capilares são fechados, impedindo a saída de água da planta e só acontecerá num aumento de temperatura, o que pode provocar degradação do material (HORNOK, 1992). Quando ocorre a evaporação na superfície da planta, a umidade se desloca das camadas internas para a superfície por difusão.

O movimento da umidade é causado pelo gradiente de concentração entre o interior e a superfície da planta (LIVI, 2004). No início da secagem o teor de umidade interna é elevado e o gradiente de concentração é alto, assim, a quantidade de líquido difundido para a superfície é igual ao evaporado, mantendo a velocidade constante.

No decorrer da secagem, o gradiente de concentração vai diminuindo até que a velocidade de secagem torna-se controlada inteiramente pela difusão da água no interior da planta (LIMA, 1971).

A Figura 04 exhibe uma curva teórica para secagens de plantas medicinais.

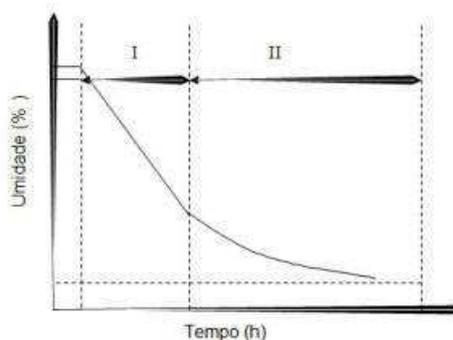


Figura 04 - Curva teórica de secagem de plantas medicinais, Hornok (1992)

#### NOTAS:

I - Elimina água ligada mecanicamente e parte da água ligada osmoticamente

II - Elimina água ligada osmoticamente até equilíbrio com a umidade relativa do ar (ponto final de secagem).

O processamento pós-colheita é um dos pontos críticos no processo produtivo de plantas medicinais e aromáticas.

As plantas medicinais são sensíveis ao processo de secagem e as temperaturas a que são submetidas podem causar alterações na quantidade e qualidade dos princípios ativos, principalmente nos teores de óleo essencial, porém, no geral, temperaturas entre

40 °C e 60 °C são as sugeridas para a secagem (MELO et. al., 2004; NEGRI et al., 2006).

A secagem é mais eficiente em maior temperatura, maior velocidade do ar e menor umidade relativa (BORSATO, 2003). Porém, altas temperaturas promovem o rompimento das estruturas celulares, levando à morte ou desencadeamento de reações enzimáticas e não enzimáticas alterando a cor, o sabor e o odor da planta. O efeito térmico pode hidrolisar e degradar carboidratos causando escurecimento.

As espécies medicinais ou aromáticas, onde as substâncias ativas estão concentradas nas folhas devem ser secas imediatamente após a coleta a fim de manter suas propriedades medicinais e de estabilidade.

O material deve ser distribuído em camadas finas, sem compactação, permitindo boa circulação do ar. Recomenda-se que a secagem seja rápida, com calor moderado, circulação de ar e ausência de luz solar.

Nas secagens empregando temperaturas abaixo de 80° C não ocorre degradação de enzimas, mas inibição, podendo ser reativadas (BORSATO, 2003). A secagem de plantas causa uma desidratação reduzindo a ação das enzimas e contaminação microbiana, conservando a planta por tempo mais longo.

A desidratação concentra o teor de princípios ativos em relação ao peso da droga vegetal. As plantas medicinais devem ter o conteúdo de umidade mais baixo possível evitando mofo e contaminação microbiana.

Os métodos de secagem são variados: ar aberto; em camadas finas em bandejas de secagem; salas ou construções com telas de arame; pela luz direta do sol, se conveniente; em secadores solares; por fogo indireto; estufa; liofilização; microondas; infravermelho, entre outros. É conveniente controlar a temperatura e a umidade. A secagem à sombra é melhor que em luz direta do sol por preservar a cor de folhas e flores; para substâncias voláteis, usar baixas temperaturas e as condições de secagem deve ser registrado. Para secagem em ambiente aberto, espalhar o material em camadas finas e revolver com frequência. Não dispor o material diretamente no chão ou piso, mas em estrados ou estrutura protetora. O local de secagem deve ser ventilado, protegido de poeira, da entrada de animais, de insetos e de roedores. Quando a secagem ocorrer em ambientes fechados, a duração, a temperatura e a umidade devem ser consideradas para a parte da planta que se pretende utilizar (folha, flor, raiz ou caule), NEGRI (2007).

Recomenda-se usar temperatura de 20 a 40 °C para as plantas; evitar o aquecimento direto, preferentemente usar gás butano, propano ou natural e evitar o contato de fumaça com o material a secar. O material deve ser disposto em camadas finas de 3 cm para as folhas, permitindo circulação do ar entre as partes vegetais (CORREA JUNIOR, et al., 1994; WHO, 2003).

### 2.3.3 Leito de Jorro

A técnica de leito de jorro foi descoberta em 1951 no Canadá, quando pesquisadores buscavam modificações no secador de leito fluidizado para ampliar a sua capacidade na secagem de grãos de trigo. O problema crítico, detectado durante a secagem destes grãos, era a formação de grandes bolhas de ar (slugs) em condições de operação acima daquela de mínima fluidização, impedindo o escoamento uniforme do ar de secagem através do leito destas partículas. Na tentativa de minimizar este problema, Mathur e Gishler (citado em Mathur e Epstein, 1974) foram bloqueando a área do distribuidor de ar até reduzi-la a uma pequena abertura central na base da coluna. Estes dois pesquisadores observaram, então, um novo tipo de escoamento fluido-partícula, denominando-o de regime de jorro.

Esta técnica apresenta uma série de particularidades. Proporciona excelente grau de mistura e efetivo contato entre fluido e sólido, resultando em altas taxas de transferência de calor e massa entre as fases. Promove o atrito entre as partículas e a parede do equipamento devido às colisões das partículas a alta velocidade no jorro; e a ausência de um prato distribuidor, em contraste com o leito fluidizado.

Diante destes fatores, o leito de jorro mostrou-se de tal forma promissor a secagem de materiais termosensíveis que, já em 1963, foram implantadas no Canadá unidades industriais para secagem de ervilha, lentilha e fibras de linho (Mathur e Epstein, 1974), além de unidades para resfriamento de sólidos, granulação, revestimento de partículas, cristalização e ativação de carvão. Potenciais aplicações industriais para o leito de jorro, embora ainda estejam em escala piloto, incluem a carbonização e gaseificação do carvão, moagem e mistura de sólidos e pirólise de xisto.

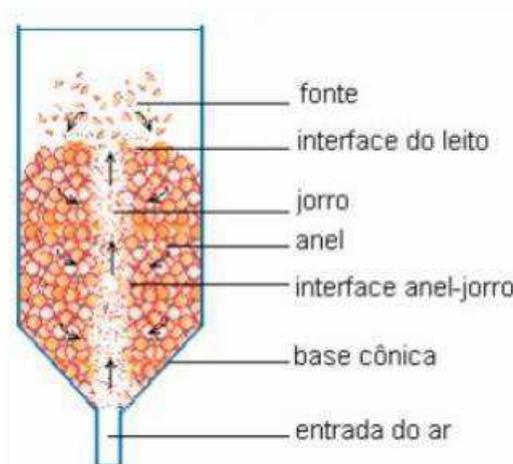


Figura 05 - Diagrama Esquemático do Leito de Jorro Tradicional (Fonte: Rocha et. al 2006)

O leito de jorro, na forma como foi concebido, é conhecido hoje como leito de jorro convencional. Consta, basicamente, de uma coluna cilíndrica de base tronco-cônica, na qual um jato de fluido, usualmente o ar, é injetado por um orifício de entrada, localizado na sua extremidade inferior, como mostra a Figura 05. A geometria convencional possui limitações relativas ao aumento de escala e à capacidade de processamento. O gás injetado percola o leito de partículas sólidas, cuja circulação principia quando a vazão do gás é suficiente para provocar o movimento central e ascendente destas partículas a níveis acima do leito. Forma-se, então, uma região central de alta porosidade ( $\epsilon > 0,7$ ), denominada jorro, onde as partículas são arrastadas pneumáticamente, formando no topo uma fonte de sólidos que se espalham radialmente, e descem pelo espaço anular que envolve o jorro, em contracorrente com o fluido. Esta região anular é caracterizada pela baixa porosidade ( $\epsilon < 0,6$ ), e pelo movimento descendente dos sólidos, cujo comportamento assemelha-se ao de um leito deslizante. Embora as partículas possam voltar ao jorro ao longo da interface jorro-anel, a maior parte retorna pela região inferior da base tronco-cônica, onde inverte o sentido do movimento, deslocando-se ascendentemente, caracterizando assim o movimento cíclico dos sólidos. Na utilização da técnica do leito de jorro o diâmetro médio das partículas recomendado é maior ou igual a 1 mm, partículas menores que este valor tendem a formar um regime de jorro instável. A geometria convencional para o leito de jorro é a cônico-cilíndrica, que possui limitações relativas ao aumento de escala e à capacidade de processamento. Para um material sólido em contato com um fluido específico, existe uma altura máxima de jorro,  $A$ , acima do qual

não ocorre o jorro, e sim uma má fluidização. Esta altura é função de  $n$  parâmetros geométricos da coluna e de propriedades do sistema fluido-partícula utilizado. Para leitos com altura superior à  $A$ , o regime de jorro termina ou pela fluidização do topo do leito ou pela obstrução do jorro na base da coluna (MATHUR; EPSTEIN, 1974). A outra limitação está relacionada ao diâmetro da coluna cônico-cilíndrica, que não deve exceder a 1 m devido à formação de regiões mortas no leito, nas quais não há a circulação de partículas. Uma das modificações propostas para superar as limitações resultantes da geometria cônico-cilíndrica é a construção de um equipamento exclusivamente cônico, que não apresenta limitação de altura do leito de partículas e que minimiza regiões mortas no leito (OLIVEIRA, 1995).

### 2.3.3.1 Classificação de Partículas

O comportamento de um leito é definido de acordo com a natureza das partículas que o constitui. (GELDART, 1973), sugeriu uma classificação de partículas em quatro categorias: A, B, C e D, como mostrado na Figura 06.

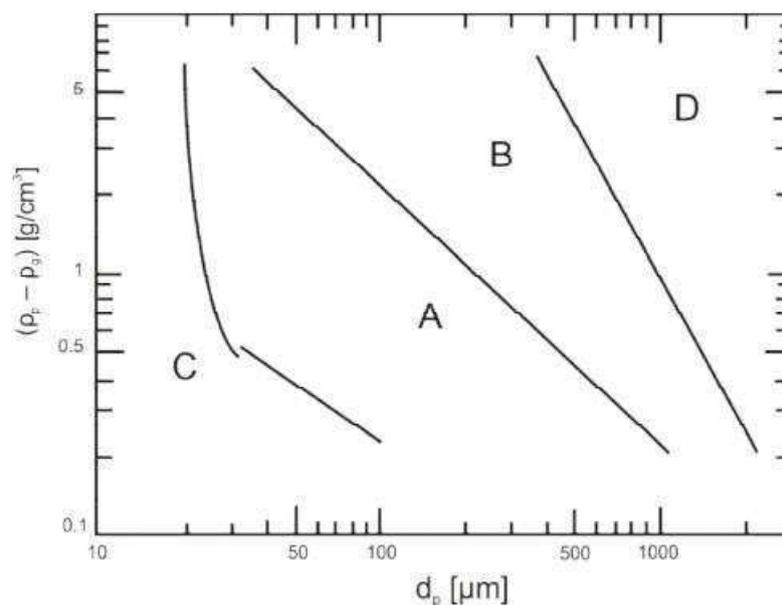


Figura 06 - Diagrama de Geldart. Modificado de (Silva, 1996)

As partículas podem ser classificadas como pertencente a um grupo apenas conhecendo a sua densidade ( $\rho_p$ ) e seu diâmetro ( $d_p$ ). O grupo ao qual pertencem as partículas é função do seu tamanho ( $d_p$ ) e da diferença de densidade entre o sólido e o gás fluidizante ( $\rho_p - \rho_g$ ).

O grupo C é formado pelas partículas muito finas, como pós, e possuem tendência a aglomeração o que dificulta a fluidização, porém pode ser feita com uso de agitação mecânica (leito vibrofluidizado). Exemplos de sólidos desta natureza são pós de maquiagem, a farinha e o amido. Possuem diâmetro  $d_p < 30 \mu\text{m}$ .

O grupo A pertence às partículas as quais a velocidade mínima de fluidização e a velocidade de aparição das bolhas são diferentes. Possuem diâmetro  $20 \mu\text{m} < d_p < 100 \mu\text{m}$  e densidade  $\rho_p < 1,4 \text{ g/cm}^3$ . Estas partículas fluidizam facilmente e também formam leitos expandidos, onde o leito aumenta consideravelmente seu volume antes de atingir o estado fluidizado. Partículas desse tipo geralmente são utilizadas em craqueamento catalítico (FCC).

O grupo B possui partículas de tamanho grande. Caracterizadas por possuírem densidade  $1,4 \text{ g/cm}^3 < \rho_p < 4,0 \text{ g/cm}^3$  e diâmetro  $40 \mu\text{m} < d_p < 500 \mu\text{m}$ , essas partículas possuem velocidades mínima de fluidização e de aparição das bolhas próximas ao ponto de se confundirem. As bolhas se iniciam à velocidade mínima de fluidização ou ligeiramente acima. Um dos sólidos com essas características e bastante utilizado é a areia.

O grupo D é composto por partículas relativamente grandes e/ou muito densas. A fluidização desses sólidos é instável e dificultada por causa da forma frequentemente irregular e pelo tamanho das partículas. Na maioria dos casos estão adequadas para leitos de jorro. A formação de canais preferenciais é característico para estes sólidos. Possuem diâmetro  $d_p > 600 \mu\text{m}$ . Geralmente são partículas como comprimidos, grãos, e outros.

#### 2.3.3.2 Ângulo de Repouso ( $\phi_R$ )

O ângulo de repouso ( $\phi_R$ ) pode ser medido pelo amontoamento de produto granular ou pulverulento formado pelo seu basculamento sobre uma superfície plana. Este somente estará em equilíbrio se os grãos menos estáveis situados na superfície da pilha estiverem em equilíbrio estático. Desta forma, o ângulo formado pela superfície livre da pilha com o plano horizontal é o ângulo de repouso do material, definido pelos grãos menos estáveis e não confinados situados próximos à superfície da pilha. Este corresponderia, portanto ao ângulo de atrito interno para o caso de pressões de confinamento praticamente nulas, ou ainda, ao ângulo de atrito interno do produto depositado num estado extremamente solto.

O ângulo de repouso do produto difere do ângulo de atrito interno em função das pressões impostas, referentes às condições internas da massa de grãos, dependendo do nível de pressões médias aplicadas a todos os grãos. O aumento das pressões de confinamento irá tornar a massa de grãos mais densa com menor índice de vazios, aumentando assim, o ângulo de atrito interno, sendo este normalmente maior que o ângulo de repouso, Silva (2006). Já Gaylord & Gaylord (1984), afirmam que para produtos granulares, o ângulo de repouso equivale ao ângulo de atrito interno.

A fluidez de um material e o ângulo de repouso estão correlacionados, exercendo influência decisiva no projeto e na utilização dos silos de armazenamento. Considerando-se que materiais com baixa taxa de escorregamento não são propícios à secagem em secadores contínuos, a determinação do ângulo de repouso é muito importante para o projeto de secadores, já que interfere diretamente na sua configuração Medeiros et. al. (2001)

### 2.3.3.3 Curvas Características

Quando ocorre a transição do leito fixo para o leito de jorro, algumas etapas importantes são consideradas. A Figura 07 mostra um exemplo de curva característica de perda de carga em função da velocidade superficial do ar na coluna.

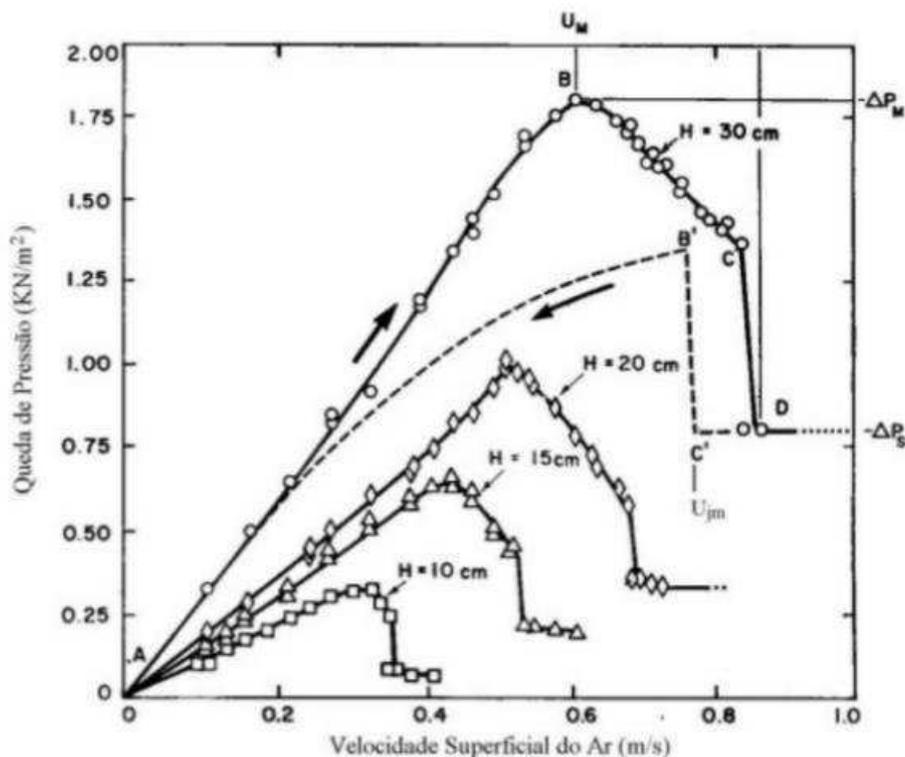


Figura 07 - Curva característica da queda de pressão versus velocidade do ar ( Fonte: Mathur & Epstein, 1974)

Sob baixas vazões o ar percorre o leito sem provocar perturbações, e o sistema comporta-se como leito fixo, verificando-se que a perda de carga aumenta a partir do ponto A, com o aumento da velocidade. Com o aumento da velocidade, forma-se próximo ao orifício de entrada do ar uma cavidade proveniente do deslocamento das partículas próximas a esta região. Com a continuação do aumento da velocidade essa cavidade tende a se alongar dando origem a um jorro interno, até o ponto B onde se observa a perda de carga máxima  $\Delta P_{\text{máx}}$ . A partir desse ponto o efeito do jorro interno rompe a superfície da camada sólida acarretando uma diminuição da perda de carga até o ponto C, onde as partículas deslocadas já são suficientes para formar um jorro incipiente. Nesse mesmo ponto ocorrem oscilações de queda de pressão e formação de bolhas, resultantes das contrações e expansões alternadas do jorro interno. Um pequeno aumento da velocidade além do ponto C provoca um jorro incipiente na superfície do leito, bem como uma queda da diferença de pressão até o ponto D, a partir do qual o jorro aflora através da superfície, tornando a perda de carga constante na região de jorro estável, nessa região o aumento da velocidade do ar promove apenas a elevação da fonte.

O caminho inverso realizado através da redução da velocidade superficial, o jorro matem-se estável até o ponto E. Este ponto representa a menor vazão de gás na qual se pode obter o jorro estável. Diminuindo ainda mais a velocidade do ar, a perda de carga aumenta e chega ao máximo de perda de carga em F, bem abaixo do ponto B, pois no processo inverso a queda de pressão é devido à interação gás-sólido apenas, não havendo a ação de ruptura do leito pelo jato. Deste ponto em diante a diferença de pressão passa a diminuir conforme a velocidade decresce.

#### 2.3.3.4 Perda de Carga Máxima ( $\Delta P_{\text{máx}}$ )

A perda de carga máxima é um parâmetro importante em projetos de unidades industriais de leito de jorro, visto que serve para especificar a potência que deve ter o soprador para aflorar à superfície do leito de partículas.

Algumas correlações são encontradas na literatura para determinação da queda máxima de pressão e pressão de jorro estável. A queda de pressão de jorro estável se

relaciona com a potência mínima necessária para manter as condições de jorro estável. Ambas dependem das características dos fluidos e dos sólidos envolvidos no processo bem como a geometria do leito.

A seguir são listadas algumas correlações clássicas citadas na literatura:

$$\text{BECKER (1961)} \quad -\Delta = - (1 - ) \quad (3.8)$$

$$\text{YOKAWA e ISAKA (1971)} \quad \frac{\Delta}{( )} = - \cdot ( ) \quad (3.9)$$

$$\text{ASENJO et al. (1977)} \quad \Delta = 1 + 2,8 \exp(- ) \quad (3.10)$$

$$\text{OGINO et al. (1993)} \quad ( ) \Delta = 1,15( ) , ( )^{-1} \quad (3.11)$$

$$\text{MALEK e LU (1965)} \quad \Delta = \text{---} \quad (3.12)$$

$$\text{MANURUNG (1964)} \quad \Delta = \frac{\text{---}}{[ , ( ) , / ] \text{---} } \quad (3.13)$$

### 2.3.3.5 Velocidade Mínima de Jorro ( $V_{jm}$ )

Definida por Mathur e Epstein (1974), a velocidade mínima de jorro é a velocidade mínima necessária para que o jorro exista. A  $V_{jm}$  depende de propriedades físicas do fluido e das partículas, bem como da geometria do leito. Essa velocidade aumenta, em leitos cônicos, com o aumento da altura do leito e com a diminuição do diâmetro da coluna cilíndrica.

Para estimativa da velocidade de jorro mínimo, várias correlações empíricas são encontradas na literatura.

MATHUR e GISHLER (1995) propuseram a seguinte correlação empírica para a velocidade de jorro mínimo:

$$= \frac{1}{2} \left( \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \right) \quad (3.14)$$

Já ABDELRAZEK (1969) propôs a seguinte correlação:

$$= \frac{1}{2} \left( \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \right) - 0,25 \quad (3.15)$$

CHOI e MEISEN (1992) propuseram a seguinte correlação empírica:

$$= 18,5 \left( \frac{1}{2} \right) \quad (3.16)$$

A correlação de OLAZAR et al. (1994) foi proposta da seguinte forma:

$$= \frac{1}{2} \left( \frac{1}{2} \right) \quad (3.17)$$

## 2.4 SUBSTÂNCIAS FENÓLICAS E TANINOS

As substâncias fenólicas possuem pelo menos um anel aromático ligado a um grupamento hidroxila. Estão distribuídos amplamente no reino vegetal, porém os animais são praticamente incapazes de sintetizar o anel aromático. São derivados metabolicamente do ácido chiquímico e fenilpropanóides (ROBARDS et al., 1999). A maioria das substâncias fenólicas não é encontrada na natureza na forma livre, mas como ésteres ou heterosídeos.

Nas plantas, encontram-se armazenados nos vacúolos, no estado reduzido ou frequentemente como heterosídeos, que não são tóxicos às plantas (BECKMAN, 2000), porém no corte ou esmagamento da planta que normalmente ocorre durante a colheita, os polifenóis são oxidados pela PPO (polifenol oxidase) a quinonas dando coloração escura. Se as quinonas se ligarem aos aminoácidos, há formação de complexos quinona-aminoácido alterando cor, aroma e sabor da planta (BITTNER, 2006).

Segundo Duarte e Debur (2005), as substâncias fenólicas são encontradas no mesófilo, predominantemente no segundo extrato paliçádico. São normalmente ácidas, altamente reativas, formam pontes de hidrogênio intra e intermolecular, ligando-se a proteínas e complexando-se com metais (SIMÕES et al., 2004). Pela aromaticidade são absorvidas intensamente na região UV e nas plantas estão relacionados à proteção contra aumentos de luminosidade, sendo que os raios UV ativam a enzima fenilalanina

amônia-liase e estimulam a produção epidérmica dos fenóis (NICHOLS-ORIANI citado por RADOMSKI, 1998). Espécies produzidas em habitats pobres contêm maior quantidade de defesas fenólicas, podendo ser um mecanismo de defesa. As substâncias fenólicas são encontradas principalmente como polifenóis e estão presentes em várias classes de metabólitos secundários, como os taninos e os flavonóides e são facilmente oxidáveis por enzimas, metais, luz e calor (SIMÕES et al., 2004). A composição fenólica é determinada genética e ambientalmente, porém o processamento e o armazenamento podem modificar os teores por reações oxidativas, principalmente nas frutas. As reações mais importantes que ocorrem nos polifenóis estão relacionadas com o potencial redox, mais especificamente a atividade antioxidante e o escurecimento oxidativo (ROBARDS et al., 1999).

Os taninos são polifenóis encontrados em plantas superiores e têm sido utilizados desde muito tempo no curtimento de couro Simões et al., (2001). Apresentam a propriedade de formar complexos insolúveis com alcalóides, gelatina e outras proteínas (Haslam, 1996; Hagerman, 2006), onde nas proteínas as principais forças de ligação são as interações hidrofóbicas e as pontes de hidrogênio. As proteínas que contêm aminoácido prolina (proteínas salivares, caseína, colágeno e bradicinina) são as que se ligam mais fortemente aos taninos; no caso das proteínas salivares, a adstringência de certos frutos e vegetais é decorrente dessa complexação. Proteínas pequenas e de conformação bastante compactada apresentam baixa afinidade pelos taninos (Haslam, 1996). Nas plantas os taninos exercem função de proteção contra os herbívoros e ataques de insetos, fungos e bactérias (Madhanet al., 2005). Beckman(2000) verificou que os taninos são compartimentalizados dentro dos vacúolos nas células vegetais na forma não polimerizada ou condensada, como o diidroxifenóis (3-hidroxitiramina ou dopamina) e quando necessário, são rapidamente oxidados e polimerizados. A classificação dos taninos está baseada nas características estruturais e propriedades químicas (Khanbabaee; Ree, 2001) e dividem-se em dois grupos principais como mostra a Figura 03 (Bhatet al., 1998; Hagerman, 2006): taninos hidrolisáveis, formados por éster de ácido gálico e seus derivados (galotaninos, elagitaninos) e os taninos condensados (proantocianidinas poliméricas ou oligoméricas com diferentes acoplamentos de unidades flavônicas). A atividade biológica dos taninos tem relação com o tamanho das moléculas, ou seja, a polimerização que sofrem; por exemplo, alguns taninos hidrolisáveis apresentam maior atividade anti-HIV em moléculas grandes e o aumento do número de grupamentos galoil proporciona uma maior complexação

com as proteínas. Os elagitaninos estão amplamente distribuídos nas subclasses 14 HDR (Hamamelidae, Dilleniidae e Rosidae), por esse motivo são usados como marcadores taxonômicos (HASLAM, 1996).

Os taninos condensados são estruturas flavan-3-ol (catequinas) polimerizadas, e quando ligadas ao colágeno tipo I formam estruturas altamente estáveis, podendo ter diversas aplicações como material biocompatível (Madhanet. al., 2005). Estudo em plasma e urina humana mostrou que a ingestão de chá verde contendo catequinas resultou em derivado metabólico metilado em posição 3' para catequinas e epicatequinas e metilado em posição 4' para epigalocatequinas preferentemente (Menget al., 2001). A luminosidade é um fator que afeta a produção de taninos, sendo diminuída em ambientes sombreados comparados a espécies cultivadas ao sol. Observou-se também que, quanto mais velha a planta, maior a concentração de taninos (SCHEFFER, 2002). As atividades farmacológicas dos taninos são atribuídas a três ações (SIMÕES et al., 2001):

- Complexação com íons metálicos
- Atividade antioxidante e seqüestradora de radicais livres
- Complexação com macromoléculas: proteínas e polissacarídeos.

Os usos dos taninos são diversos, já foram identificadas atividades bactericidas, fungicidas, antiviral, moluscicida, inibição de enzimas, de peroxidação lipídica, seqüestradora de radicais livres e antitumoral. Alguns taninos mostraram capacidade de inibir seletivamente a replicação do vírus HIV (KANBABAE; REE, 2001). Na indústria os taninos são usados no curtimento de couro, produção de vários tipos de polímeros, preservação de madeiras, entre outros (SIMÕES et al., 2001).

#### Taninos hidrolisáveis

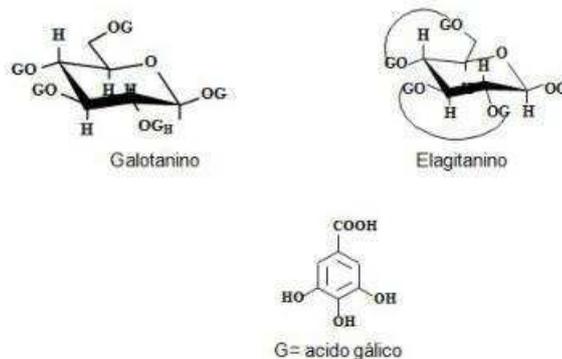




Figura 03 – Estrutura química dos taninos

## 2.5 TÉCNICAS DE EXTRAÇÃO DE PRINCÍPIOS ATIVOS EM PLANTAS

A mudança rápida do mundo moderno, a necessidade em aprimorar técnicas, chama o homem a rever os princípios das coisas, seus fundamentos, reestudar e nunca deixar de buscar e explorar todo o potencial daquilo que convencionamos a chamar de clássico ou tradicional, pois esses serão o ponto de partida, o apoio para todo e qualquer avanço. A extração de princípios ativos de plantas medicinais pode ser realizada por inúmeros métodos extrativos que podem ser técnicas clássicas, como por exemplo, maceração, percolação, decoção, infusão, extração contínua a quente (Soxhlet), arraste com vapor, mas também, técnicas avançadas como, por exemplo, com capacetes de pressão, com ajuda de microondas, de ultrassom e com fluidos supercríticos (THOMA et al., 2001).

A Extração é um método conveniente para retirar substâncias de órgãos ou de matrizes onde são originadas e localizadas. Segundo Pachú (2007) a teoria da extração é baseada no fato que se uma substância é solúvel em algum grau num solvente, ela pode ser extraída quando a matriz onde se encontra é posta intimamente em contato com ele. Para uma proposta específica de extração a escolha do solvente é certamente um dos problemas principais a ser considerado. Esse agente extrator é geralmente um líquido orgânico volátil, que pode ser removido por evaporação após ter extraído a quantidade de material desejada.

Os solventes orgânicos mais comuns utilizados em processos de extração são: pentano, hexano, éter de petróleo, éter etílico, diclorometano, clorofórmio, acetato de etila, acetona, metanol e etanol. Outros solventes menos usados incluem dissulfeto de

carbono, tetracloreto de carbono, tolueno, xileno, isopropanol, butanol, entre outros. Cada um desses solventes tem uma característica própria de extração que deve ser levada em conta, além de outras propriedades. Por exemplo, éter etílico é muito usado como solvente extrator, tem ponto de ebulição baixo (34°C) e pode dissolver um número razoável de substâncias orgânicas. Contudo, éter etílico deve ser usado com cuidado, uma vez que é extremamente inflamável e tende a formar peróxidos quando armazenado. Diclorometano apresenta a maioria das qualidades do éter etílico e com a vantagem adicional de não ser inflamável. Contudo tem a tendência para formar emulsão, Pachú (2007).

Perigos potenciais devem sempre ser considerados no momento de selecionar e usar um solvente para extração. Benzeno não é recomendado por causa de sua atividade carcinogênica, a menos que sejam tomadas todas as precauções necessárias. Solventes inflamáveis (éter etílico, éter de petróleo, pentano, etc.) devem ser utilizados em laboratórios onde não se faz uso de chamas vivas. Precauções devem ser tomadas com todos os solventes para minimizar contato com a pele, com os olhos, inalação de vapores e possíveis exposições a fontes de ignição.

A extração com solvente, como aplicado para plantas, compreende a dissolução seletiva da porção solúvel dos seus constituintes num solvente apropriado, sendo a quantidade de material extraído proporcional à massa de planta imersa no solvente. O processo extrativo é também função do tempo em que o material fica em contato com o agente extratante, do grau de trituração da planta, da temperatura, da polaridade do solvente e da reatividade desse frente aos produtos a serem extraídos, da quantidade de solvente usado que deve ser adequada com a quantidade de material, já que deverá embeber as células para retirar delas as substâncias químicas aí existentes.

## 2.6 ESPECTROFOTOMETRIA

A espectrofotometria é o método de análises óptico mais usado nas investigações biológicas e físico-químicas. O espectrofotômetro é um instrumento que permite comparar a radiação absorvida ou transmitida por uma solução que contém uma quantidade desconhecida de soluto, e uma quantidade conhecida da mesma substância. Todas as substâncias podem absorver energia radiante, mesmo o vidro que parece completamente transparente absorve comprimentos de ondas que pertencem ao espectro visível. A água absorve fortemente na região do infravermelho. A absorção das radiações ultravioletas, visíveis e infravermelhas dependem das estruturas das

moléculas, e é característica para cada substância química. Quando a luz atravessa uma substância, parte da energia é absorvida (absorbância): a energia radiante não pode produzir nenhum efeito sem ser absorvida. A cor das substâncias se deve a absorção (transmitância) de certos comprimentos de ondas da luz branca que incide sobre elas, deixando transmitir aos nossos olhos apenas aqueles comprimentos de ondas não absorvidos (BERG et al., 2005).

#### 2.6.1 Espectrofotometria no Ultravioleta Visível

A espectrofotometria no ultravioleta visível (UV/VIS) é uma das principais técnicas utilizadas para a análise estrutural de taninos. Esta técnica requer uma quantidade pequena de substância pura. A adição de reagentes específicos, que reagem com um ou mais grupos funcionais, pode melhorar as informações obtidas pelo espectro de UV (MABRY et al., 1970).

---

# Capítulo III

---

## CAPÍTULO III

### 3 ESTADO DA ARTE

Em 1954, Mathur e Gishler desenvolveram o secador de leite de jorro com o objetivo de realizar a secagem de grãos de trigo (Souza Jr., 2012). Desde então, este secador vem sendo utilizado para a secagem de diversos tipos de grãos, soluções, suspensões e pastas (Medeiros et al., 2001). Na secagem de pastas e suspensões, a técnica utiliza um leite constituído de partículas inertes. Ao longo dos anos, muitos trabalhos foram publicados sobre o leite de jorro, incluindo a secagem de leite desnatado, ovo de galinha integral homogeneizado, carbonato de cálcio (Almeida, 2009), extratos aromáticos (Benelli et al., 2013), farinha de banana verde (Bezerra et al., 2013), polpas de frutas (Gomes et al., 2002; Medeiros et al., 2001), leite de cabra (Urbano et al., 2009; Medeiros et al., 2007) e aplicação de revestimento entérico em cápsulas gelatinosas duras (Martins & Oliveira, 2003). Segundo Medeiros et al. (2001), este secador tem-se mostrado boa alternativa ao secador spray dryer, já que fornece produtos de qualidade similar, a custos significativamente inferiores.

Na literatura são encontrados trabalhos que abordam várias aplicações do leite de jorro no que se refere à secagem de resíduos que são de grande interesse em indústrias farmacêuticas, alimentícias e agrícolas.

Araújo (2014) estudou o impacto da secagem da polpa de Jambolão (*Syzygium cumini*) desidratada por liofilização e leite de jorro e obteve as seguintes conclusões: A polpa de jambolão (*Syzygium cumini*) foi desidratada por secagem em leite de jorro e liofilização apresentando baixo teor de umidade e atividade de água, o que conferiu maior estabilidade microbiológica ao produto final. Os pós obtidos também foram classificados como pouco higroscópicos e apresentaram alta solubilidade em água, características importantes quando se trata de produtos secos. A análise colorimétrica revelou que os produtos desidratados apresentaram cores intensas, característica desejável para indústria de corantes naturais. As técnicas de secagem investigadas no trabalho constituem rotas tecnológicas capazes de produzir produto final com valor agregado, que serviria como alternativa para o consumo e utilização racional dessa fruta exótica e que viria a diminuir o desperdício atual constatado para os frutos de jambolão.

Almeida et al. (2014) em estudo experimental da secagem em leite de jorro do carpelo da macadâmia, planta originária da Austrália que possui seus primeiros registros

de cultivo no Brasil datados da década de 30 (Pimentel, 2007), observou que o regime de jorro do carpelo da macadâmia, nas condições propostas, se mostrou estável, pois atingiu desvios da flutuação do sinal de grandeza menor do que 50 Pa. Não ocorreu formação de bolhas ou redemoinhos e a altura da fonte se manteve praticamente constante. Para todas as temperaturas propostas, obtiveram um baixo valor de umidade final. As Equações de Page e de Overhults que representaram bem a cinética de secagem do carpelo, apresentando os maiores valores de R<sup>2</sup>. Diante do estudo realizado, confirmou a eficiência do leito de jorro como secador para carpelo de macadâmia, visto que este alcançou um valor de umidade do carpelo significativamente baixo, reduzindo-o de 23% para 1,5% em um período de tempo de 3 horas, tempo este que pode ser considerado curto. Concluiu ainda que o leito de jorro, devido ao seu contato efetivo entre o fluido e os sólidos torna-se uma ótima escolha para a secagem de partículas como o carpelo, auxiliando em processos futuros, como por exemplo, a pirólise de biomassa.

Mussi et al. (2014) durante avaliação do efeito da secagem em leito de jorro sobre o teor de antocianinas totais em resíduos de jambolão (*Syzygium cumini* L.) concluíram que a secagem em leito de jorro realizada com temperatura do ar entre 60 e 80 °C apresentou degradação das antocianinas do resíduo de jambolão, com redução de 60 a 70% da sua concentração inicial e que ainda é necessário estudar condições de secagem que minimizem as reações de degradação de antocianinas para garantir estabilidade e estimular a incorporação do resíduo do jambolão em pó como corante natural em indústrias alimentícias, além de produtos fitoterápicos nas indústrias farmacêuticas.

A secagem do resíduo de acerola em leito de jorro foi estudada por Souza Jr (2012) empregando duas metodologias distintas, a partir do extrato aquoso do resíduo e do resíduo triturado. A secagem do extrato aquoso foi realizada com base no trabalho desenvolvido por Moreira (2007) cujo extrato foi obtido na condição ótima de extração de ácido ascórbico e antocianinas, encontrada pelo autor, com adição de maltodextrina e da mistura goma de cajueiro com maltodextrina. Na preparação do resíduo triturado, foram adicionados água e maltodextrina. Souza Jr (2012) observou que tanto na secagem dos extratos como na do resíduo triturado o secador operou com estabilidade fluidodinâmica. Em relação à produção de pó foram observadas as maiores eficiências na secagem do resíduo triturado com adição de água e maltodextrina e na secagem do extrato com adição de maltodextrina na proporção de 3,5g/ grama de sólidos contido no

extrato. As eficiências de produção de pó foram praticamente iguais, 43,62 e 40,24 %. Contudo vale salientar que a produção de pó na secagem de resíduo triturado com adição de maltodextrina e água foi cerca de 318% maior. Tal produção foi explicada pelo elevado teor de sólidos da suspensão preparada a partir da trituração do resíduo. Nesse trabalho também foi verificado um maior impacto do processamento sobre a concentração de ácido ascórbico no produto em pó obtido a partir da secagem do extrato, cujas perdas foram 4 vezes superior às encontradas na secagem do resíduo triturado com adição de maltodextrina e água.

Também Souza Júnior (2012) fez o estudo da secagem do resíduo industrial da acerola em leito de jorro e analisou o desempenho do secador chegando a conclusão que apesar das limitações pertinentes ao processo de secagem no leito de jorro, o secador forneceu produto em pó com qualidade compatível ao produzido nos secadores industriais, e eficiência de produção mais elevada que o secador spray em escala de laboratório. Considerando-se que a eficiência energética do processo pode ser otimizada, conclui-se que a secagem em leito de jorro apresenta-se como alternativa interessante para o aproveitamento de resíduo da acerola.

Lima (2001) estudou a secagem em leito de jorro de bagaços de manga, caju e abacaxi, obtidos como resíduos das indústrias de polpas de frutas, com a finalidade de obter um produto desidratado rico em fibras. Os bagaços sofriam sucessivas lavagens com água destilada, inicialmente fria e depois aquecida, para que fossem removidas tanto as impurezas presentes como o excesso de sólidos solúveis (principalmente açúcares), que interferem negativamente no processamento de polpas em leito de jorro, segundo Medeiros et al (2001). Após as lavagens os bagaços eram triturados em multiprocessador doméstico, obtendo-se um material fibroso com consistência pastosa. O material era alimentado em batelada ao secador de leito de jorro com partículas inertes de poliestireno de baixa densidade. Os resultados encontrados por Lima (2001) mostraram-se promissores em relação à utilização dos bagaços como fonte de fibras naturais na indústria de alimentos e a utilização do secador de leito de jorro na secagem dos resíduos das indústrias de polpas de frutas.

Medeiros et al (2005) estudaram a produção de farinha de milho enriquecida com polpa e bagaço de abacaxi, leite e açúcar, a partir da secagem da mistura em leito de jorro com partículas inertes de poliestireno de baixa densidade. A eficiência de produção foi baixa, em torno de 20%. Todavia as farinhas apresentaram qualidade compatível às farinhas e cereais enriquecidos encontrados no mercado.

Borges (2011) estudou os resíduos desidratados, secos em leito de jorro, de acerola (*Malpighia glabra* L.), cajá-umbu (*Spondia* spp.), jambolão (*Syzygium cumini*) e pitanga (*Eugenia uniflora*). Observou que a secagem em leito de jorro foi mais eficiente para os resíduos de cajá-umbu e pitanga e que a composição química dos resíduos influenciou fortemente o desempenho da secagem. Esse resultado já havia sido observado por Medeiros (2001), porém não houve interferência da concentração de fibras sobre o desempenho da secagem. Borges (2011) observou também que todos os resíduos desidratados apresentaram elevados teores de fibras e proteínas, porém baixos teores de gorduras foram encontrados. Todos os resíduos desidratados mostraram-se como fontes ricas de compostos fenólicos de significativa atividade antioxidante, além de apresentar moderada inibição enzimática para  $\alpha$ -amilase e elevada inibição enzimática para a  $\alpha$ -glicosidase. Os resíduos desidratados de acerola e jambolão apresentaram teores significativos de antocianinas. O resíduo seco de acerola apresentou a maior concentração de ácido ascórbico entre os demais resíduos e, apesar das perdas inerentes ao processo, mostrou-se uma fonte importante deste composto.

Comitre et al. (2015) em estudo da secagem a vácuo de *Spirulina* SP. LEB 18 nas temperaturas de 50, 60 e 40 °C, observou a partir dos resultados obtidos que a secagem a vácuo na temperatura de 40 °C apresentou resultados satisfatórios em relação aos compostos fenólicos, atividade antioxidante e menor degradação da ficocianina, sendo esta a condição mais adequada para secagem de *Spirulina*.

Costa et al. (2012) observando a estabilidade de compostos fenólicos e flavonóides nas farinhas de jatobá e pequi processadas em temperaturas de 40, 50 e 60 °C chegaram a conclusão que a secagem de polpa de jatobá e pequi para a produção de farinha pode ser realizada a 50 °C sem prejuízos aos teores de compostos fenólicos e flavonóides presentes no alimento.

Machado et al. (2014) estudando o impacto do processo de secagem em leito fixo em temperaturas de 50 e 80 °C sobre o conteúdo de compostos bioativos presentes nas folhas de oliveira (*Olea europaea*) chegaram a conclusão através das análises de compostos bioativos para as diferentes amostras que a temperatura de secagem influencia o conteúdo destes compostos, de forma que para fenóis totais a amostra seca em 50 °C apresentou melhor resultado

Morais et al. (2014) estudaram o impacto da secagem convectiva sobre os compostos bioativos e atividade antioxidante do resíduo do caju (*Anacardium Occidentale* L.) e de acordo com os resultados apresentados, puderam concluir que tanto

o resíduo do pedúnculo de caju in natura, quanto o resíduo desidratado contém em sua composição quantidades relevantes de compostos bioativos. Dentre os fitoquímicos presentes nos resíduos destacam-se os carotenoides e os compostos fenólicos, os quais mostraram maior retenção após o processo de secagem. Evidenciou-se, portanto, que a secagem convectiva aplicada ao resíduo do pedúnculo é uma estratégia que possibilitaria maior aproveitamento desse coproduto da indústria de caju, o qual diminuiria a potencial contaminação ambiental que o excesso desses resíduos vem causando.

A literatura aponta a romã *Punica Granatum L.* como uma planta com grande potencial para prevenir e combater várias doenças. A análise da literatura permite concluir que entre várias propriedades da romã, há destaque para a propriedade antimicrobiana e antiinflamatória. É enfatizada a possibilidade de emprego nas infecções hospitalares devido à resistência bacteriana aos antibióticos convencionais. O uso tem despertado interesse na odontologia e em especialidades médicas e veterinárias. Sendo uma planta não-nativa e cultivável, certamente o uso da romã poderá despertar o interesse das indústrias farmacêuticas e de gêneros alimentícios

Mahajanet al (2015) avaliaram a atividade antioxidante para a eliminação de radicais livres e atividade anti-inflamatória de cascas de frutas de *punica granatum*. O efeito de eliminação de radicais livres foi estudada usando 1,1- difenil -2- picrilhidrazil (DPPH) e óxido nítrico no ensaio de eliminação de radicais. A atividade anti - inflamatória foi avaliada por ensaio de HRBC. Foi concluído que todos os extratos de pGFP exibiram efeito de eliminação de radicais livres significativo. O extrato de metanol exibiu DPPH significativa máximo e o óxido nítrico atividade de eliminação de radicais. O metanol foi o melhor solvente na obtenção do extrato de pGFP que é rico na eliminação de radicais e fito constituintes anti-inflamatórios .

Yuan et al. (2015), em estudo sobre as propriedades físicas, atividade antioxidante e antimicrobiana dos filmes de quitosana contendo carvacrol e extrato de casca de romã , observaram que filmes ativos à base de quitosana foram desenvolvidos por incorporação de carvacrol (10 g / L), extrato de casca de romã (EPI, 10 g / L) e carvacrol + PPE (10 g / L de cada) e as suas propriedades físicas, antioxidantes e antimicrobianas foram investigadas. Todos os filmes, com a exceção de película incorporado-PPE, exibiram uma atividade antibacteriana contra *Escherichia coli* e *Staphylococcus aureus*. Além disso, a actividade antibacteriana contra *Staphylococcus aureus* do filme incorporado com carvacrol + PPE foi moderadamente mais elevada do

que com o carvacrol incorporada ou PPE sozinho, sugerindo uma ação sinérgica entre o carvacrol e PPE.

Santos (2014) na avaliação da atividade de *Punica granatum* Linnaeus contra *Staphylococcus aureus* isolados de mastite bovina e ação anti-inflamatória “in vivo” observou os possíveis efeitos inibitórios contra *Staphylococcus aureus* isolados de casos de mastite bovina e ação anti-inflamatória “in vivo”. O extrato hidroalcolico foi preparado utilizando a casca do fruto de *Punica granatum*. A avaliação da atividade antimicrobiana foi realizada em teste de difusão de ágar, com 16 cepas de *S. aureus* isolados. Foi realizado o ensaio de edema de pata induzido por carragenina em ratos Wistar, machos. O extrato da casca do fruto em todas as concentrações testadas inibiu todos os microrganismos isolados e também demonstrou redução do edema de pata nas concentrações testadas de 81,25; 162,50; 325 e 650 mg/mL. Os resultados do estudo podem explicar em parte a utilização de *P. granatum* para o tratamento de doenças infecciosas e inflamatórias podendo contribuir para a alternativa terapêutica em Medicina Veterinária

Pereira (1997), citado por Werkman et. al (2008) observou que o extrato etanólico do epicarpo da *P. granatum* age na inibição da absorção intestinal de glicose. A atividade hipoglicêmica observada não depende da liberação ou potencialização da insulina. O extrato interferiu na glicemia de ratos tratados com insulina e inibe a hiperglicemia em ratos tratados com aloxane. Jafri et al. (2000) estudaram o efeito de flores da *P. granatum* na redução do nível de glicose sanguínea em ratos normais e diabéticos. Os resultados mostraram que a administração oral do extrato aquoso-etanólico (50%, v/v) da planta reduziu a taxa de glicose sanguínea. O extrato da planta baixou o nível de glicose após 1 hora de administração e aumentaram a tolerância à glicose em ratos normais, inibindo a hiperglicemia. Das et al. (2001) avaliaram a atividade hipoglicêmica de extrato metanólico da semente de *P. granatum* em ratos diabéticos induzidos por streptozocina, que causou, após 12 horas, redução significativa nos níveis sanguíneos de glicose.

A atividade antioxidante da romã é apontada como o maior potencial presente na fruta como um todo, polpa, cascas e sementes.

Aviram et al. (2000) analisaram em homens saudáveis e em ratos com aterosclerose o efeito do suco de romã sobre a oxidação da lipoproteína, quimiotaxia de macrófagos, agregação plaquetária e aterosclerose. O suco de romã foi consumido durante cerca de duas semanas e apresentou efeitos antioxidativos, reduzindo a

peroxidação de lipídios no plasma e em lipoproteínas isoladas (HDL – High Density Lipoprotein e LDL - Low Density Lipoprotein). Os resultados demonstraram que em humanos, o consumo de suco de romã diminuiu a suscetibilidade, a agregação e a retenção de LDL e aumentou a atividade de paraoxanase no soro. Nos ratos, a oxidação de LDL por macrófagos peritoneais foi reduzida até 90% o que foi associado com a redução da peroxidação lipídica celular e a liberação de superóxido. Além disso, o suco de romã reduziu o tamanho das lesões ateroscleróticas a 44% em ratos e diminuiu o número de macrófagos espumados.

Fuhrman e Aviram (2001) fizeram uma revisão a respeito do efeito antioxidativo dos flavonóides. Os estudos mais recentes comprovam que diferentes grupos de flavonóides e taninos presentes no suco de romã inibem a oxidação de LDL, *in vitro* e *in vivo*. Além de reduzir a capacidade de macrófagos oxidarem LDL, a administração do suco da fruta reduziu e atenuou o desenvolvimento de lesões ateroscleróticas em ratos.

Fuhrman e Aviram (2002) observaram que suco de romã também apresentou a propriedade de preservar a paraoxanase no soro humano, ao diminuir a quantidade de peroxidases lipídicas, que inativam a enzima. Singh et al. (2002) avaliaram *in vitro* as propriedades antioxidantes obtidas de extratos metanólico, aquoso e acetônico da casca da fruta e das sementes da romã. O extrato metanólico da casca apresentou a maior atividade antioxidante inibindo a peroxidação lipídica, nas reações com radicais hidroxila e oxidação de LDL.

Noda et al. (2002) avaliaram as atividades antioxidantes do extrato acetônico da *P. granatum* e das três importantes antocianidinas presentes na fruta (delfinidina, cianidina, e pelargonidina). O extrato de romã apresentou atividade contra radicais hidroxilas (OH<sup>-</sup>) e superóxido (O<sub>2</sub><sup>-</sup>). Antocianidinas inativaram o superóxido e inibiram a peroxidação lipídica induzida por H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> em células cerebrais de ratos. Os resultados relataram que as antocianidinas contribuem para a atividade antioxidante da romã.

Jarvik et al. (2002) avaliaram o aumento da atividade da paraoxanase no suco de romã, que tem papel determinante na prevenção de doenças vasculares como a aterosclerose, ao promover a inibição da oxidação do LDL.

Afaq et al. (2003) observaram que extratos da romã apresentavam vários polifenóis e antocianidinas e que suas atividades antioxidantes eram mais altas que as do vinho tinto e do chá verde. Pesquisando a indução de atividade tumoral por

substâncias carcinogênicas em epiderme de ratos, observaram que a aplicação tópica funcionava como agente anti-tumoral.

Aviram et al.(2004) realizaram pesquisa em dez pacientes que apresentavam aterosclerose com estenose da artéria carótida. Os pacientes foram suplementados por até três anos com suco de romã. Amostras de sangue foram tomadas antes e durante o tratamento. No primeiro ano o grupo controle, que não consumiu o suco, a espessura da camada íntima da carótida aumentou 9%, enquanto que no grupo teste, houve uma diminuição significativa de 30%. A atividade da enzima paraoxanase no plasma aumentou em 83%, enquanto que o LDL diminuiu 90%. A pressão sanguínea sistólica após um ano de consumo de suco reduziu 21%. Os dados obtidos após um ano ficaram estáveis mesmo com o consumo contínuo até três anos.

Kelawara e Ananthanarayan (2004), em ensaio in vitro, avaliaram por fluorimetria a oxidação do ácido linoleico, testando várias plantas. Observaram que a casca pulverizada da romã produziu a maior atividade antioxidante

Kim et al. (2002) avaliaram in vitro o potencial terapêutico coadjuvante e preventivo de polifenóis obtidos da romã contra o câncer de mama humano. Foram utilizados sucos fermentados, extrato aquoso do pericarpo e óleo da semente de romã para a obtenção de amostras ricas em polifenóis. Os polifenóis do suco fermentado, do pericarpo e do óleo da semente bloquearam a atividade endógena de biossíntese de estrógenos, e apresentaram efeito de inibição da proliferação de alguns tipos celulares. Os polifenóis do suco fermentado da romã inibiram em 47% a formação de lesão cancerosa induzida.

Hora et al. (2003) avaliaram os efeitos preventivos do óleo de semente de romã a 5% no câncer de pele induzido em ratas, que promoveu significativa diminuição da incidência do tumor. Os resultados apontaram o alto potencial do óleo como um agente químico preventivo efetivo contra o câncer de pele.

Toi et al. (2003) verificaram bons resultados na participação de extratos de romã na inibição da angiogênese, que é um processo crítico para o desenvolvimento e progressão do câncer.

Mehta e Lansky (2004) verificaram as propriedades químico preventivas de extratos da fruta em cultivo de glândulas mamárias de ratos. Observaram que o óleo da semente e uma fração do extrato purificado do suco da fruta inibiram de 75 a 90% a formação de lesão na ação de agentes carcinogênicos.

Kohno et al. (2004) observaram que o óleo da semente da romã inibiu a carcinogênese induzida por azoximetano administrado subcutaneamente em cólon de ratos.

Para a extração dos princípios ativos, vários solventes e técnicas são apresentadas na literatura. As condições escolhidas para a extração variam de acordo com o material vegetal e o marcador farmacológico a ser extraído.

Santos et. al (2014) no estudo do preparo e caracterização de tinturas das folhas de chá verde *Camellia sinensis* (L.) , mostraram que o solvente (mistura hidroalcoólica a 60 ou 70%) extraiu a maior quantidade de constituintes químicos do chá verde e também foi o mais seletivo ao extrair, especificamente os polifenóis. Estes dados sugerem que a utilização de álcool etílico a 60 ou 70% conduz à obtenção de tinturas mais ricas em polifenóis, a partir das folhas do chá verde (*C. sinensis*).

Molinari et al. (2011), estudando a influência de diferentes solventes no processo de extração de compostos ativos de *Leonurus Sibiricus* L. por meio da análise espectrofotométrica dos extratos aquoso, etanólico, hidroalcoólico e hexânico, concluíram que não há um solvente específico para a extração dos constituintes de *L. sibiricus* L., sendo importante destacar que o solvente adequado para se realizar um estudo deve ser determinado de acordo com os seus objetivos.

Luna e Souza (2010) no estudo da extração de taninos totais com solvente hidroalcoólico a 70% e aquoso, de folhas de hortelã (*Mentha Villosa* Hudson) secas, após análise espectrofotométrica observaram maior rendimento de taninos totais na extração feita com água.

---

# Capítulo IV

---

## CAPÍTULO IV

### 4 MATERIAIS E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Pesquisa em Meios Porosos e Sistemas Particulados e Laboratório de Engenharia Bioquímica, da Unidade Acadêmica de Engenharia Química da Universidade Federal de Campina Grande Campus I (UFCG).

A Figura 08 mostra o fluxograma com as etapas seguidas durante o trabalho realizado.

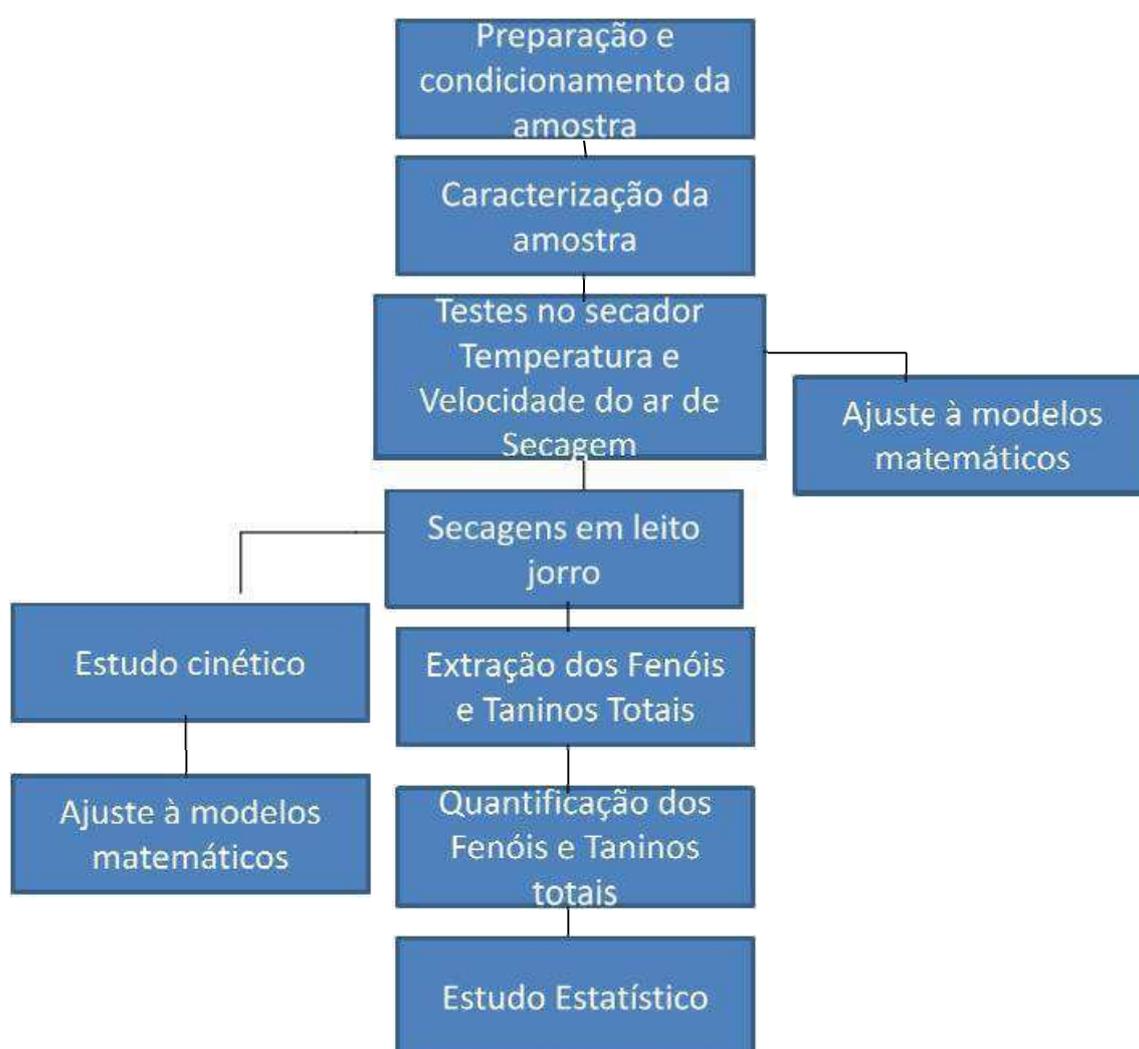


Figura 08 –Fluxograma de trabalho

#### 4.2 AQUISIÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA

As romãs utilizadas na pesquisa foram adquiridas no mercado de hortaliças de Campina Grande, Paraíba, advindas da fazenda boa fruta de Petrolina, Pernambuco. Foram compradas de uma única vez em grande quantidade e este único lote foi utilizado durante todo o trabalho. Os frutos vieram em caixas e embalados com rede de nylon uma a uma como mostra a Figura 09. As características da romã (*Punica Granatum L*), foram descritas no CAPÍTULO II, quando da revisão bibliográfica. A escolha da espécie foi baseada nas suas propriedades medicinais e utilização pela população na preparação de formas farmacêuticas com finalidade curativa ou mesmo preventiva de doenças.

Devido à dificuldade inicial da aquisição do fruto in natura, optou-se por fazer os testes fluidodinâmicos para obtenção das curvas características utilizando-se a reumidificação de cascas secas obtidas na fazenda Tamanduá, Sousa – PB.



Figura 09 – Frutos in natura adquiridos na fazenda boa fruta, Petrolina – PE

#### 4.3 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

Os frutos foram lavados, cortados e despulpados manualmente. As cascas das romãs (*Punica granatum, L.*) foram acondicionadas em sacos como mostrado na Figura 10 em geladeira com temperatura entre (5 a 10 °C), visando à preservação de suas características para realização dos experimentos. Posteriormente as cascas foram trituradas em equipamento da marca BRITÂNIA, LQ ELETRONIC FILTER PR 10 VELOCIDADES, 220V, 600 W, 60 Hz 0033102061 (Figura 11).

Para realização da reumidificação das cascas secas mostradas na Figura 13, adquiridas na fazenda Tamanduá, Sousa – PB foi utilizado um aparato bem simples. As cascas foram trituradas em equipamento da marca BRITÂNIA LQ ELETRONIC FILTER PR 10 VELOCIDADES, 220V, 600 W, 60 Hz 0033102061 e postas em uma

bandeja, esta bandeja foi colocada dentro de uma caixa de isopor fechada e com uma mangueira conectando a caixa a um umidificador ultrassônico caseiro da marca Waterclear Premium como mostra a Figura 12. Ao final de 58 horas aproximadamente, sempre mexendo a amostra na bandeja, chegou-se a uma umidade de 64%, Figuras 13.



Figura 10– Despolpagem e preparação para acondicionamento em geladeira



Figura 11 – Casca seca triturada

Figura 12 - Sistema para reumidificação



Figura 13– Amostra reumidificada

#### 4.4 CARACTERIZAÇÃO

Para a caracterização das amostras de romã (*Punica granatum*), foram utilizadas as cascas secas da fazenda Tamanduá, Sousa – PB, bem como o fruto in natura da Fazenda Boa Nova, Petrolina - PE. Foram determinadas a granulometria, densidade aparente, densidade real, porosidade, cinzas, umidade e pH.

#### 4.4.1 Granulometria

Para a determinação da distribuição granulométrica, foi realizada uma análise, através de fotografias da amostra triturada, mediante a utilização de um programa de processamento de imagens, o ImageJ. O ImageJ é um programa livre de análise de imagens com código aberto, amplamente utilizado. Existem diversos pacotes com diferentes ferramentas aplicadas às distintas áreas do conhecimento. Dentre esses pacotes, o Fiji é muito utilizado nas ciências naturais.

A rotina de aquisição de imagens consiste na deposição dispersa de sedimentos sobre um papel em branco, a fim de evitar a presença de sombras, tentando sempre minimizar a sobreposição das mesmas. Desta forma, considera-se que as partículas de sedimentos tendem a cair com o seu eixo maior e intermediário paralelo ao plano do papel. Uma escala gráfica para posterior mensuração na imagem adquirida é necessária (Ex. régua, escala adquirida em lojas especializadas de fotografia ou ainda pode-se imprimir uma escala no site <http://web.ncf.ca/jim/scale/>), como mostra a figura 14. A imagem dos grãos foi feita com uma resolução espacial mínima de 1200dpi (dots per inch) ou aproximadamente 0,021mm por pixel. Esta imagem pode ser recortada em imagens menores para ter posteriormente seus resultados somados, ou analisadas por inteiro, o que requer um computador com alta memória RAM (>2GB). A imagem pode ser adquirida colorida ou em escala de cinzas, e então salva na extensão “\*.tiff”.

O aspecto geral do software ImageJ - Fiji, mostra uma pequena tela com menus e diversas ferramentas. Para o tratamento e preparação da imagem, seguem-se os seguintes passos detalhados a seguir:

Passo 1 – Abre-se o arquivo a ser analisado, menu: FILE – OPEN ou arrastando a figura que se deseja abrir para o programa.

Passo 2 – Transforma-se a imagem em 8-bit, menu: IMAGE – TYPE – 8-BI

Passo 3 – Ajusta-se a escala através da ferramenta linha (straight) no quinto ícone de ferramentas, traçando uma reta sobre a escala conhecida. No menu: ANALYSE - SET SCALE, na janela a seguir é digitada a distância real medida (Know distance) com a sua respectiva unidade (Unit of length: mm, cm, m, km). A partir de agora, qualquer mensuração realizada pelo software será feita na escala determinada. Através da ferramenta de seleção retangular é possível selecionar a área de interesse que terá os grãos mensurados, podendo-se até cortar a figura (Menu: IMAGE - CROP) mantendo a configuração da escala, mas sem a imagem da régua.

Passo 4 – Para reduzir o ruído da imagem causada pela iluminação desigual (Starkey & Samantaray, 1991; 1994) aplica-se um filtro de convolução espacial média, no menu: PROCESS – FILTERS – MEAN. Este filtro, quando aplicado, deixa a imagem desfocada reduzindo o ruído produzido pela iluminação e pelo fundo.

Passo 5 – Para segmentar a imagem (ou seja, separar as partes de interesse do fundo) é necessário ter um valor limiar de níveis de cinza após uma análise dos histogramas dos mesmos.

Passo 6 – Caso apareçam imagens de grãos com aberturas ou espaços internos, deve-se preencher os mesmos através do procedimento PROCESS – BINARY – FILL HOLES.

Para que o programa analise as partículas automaticamente, no menu “ANALYZE” acesse “ANALYZE PARTICLES”. O primeiro campo a ser preenchido é o tamanho (Size), que neste caso é expresso em mm e deve englobar o tamanho máximo e mínimo das partículas a serem mensuradas. Após a análise das partículas, o software disponibiliza, através de uma janela independente, as partículas que foram consideradas e os dados em forma de tabela, que podem ser salvos em planilhas do Excel (\*.xls) ou em texto (\*.txt).



Figura 14 – Imagem com escala gráfica

#### 4.4.2 Densidade aparente

Para a densidade aparente foram pesados 10 g do material e depois colocados em uma proveta, sem compactação, para determinação do volume ocupado, Figura 15. Os valores foram descritos segundo as recomendações de BRASIL (2005), após aplicação da Equação 4.1. As análises foram feitas em triplicata.

$$= \frac{(\quad)(\quad)}{\quad} \quad (4.1)$$



Figura 15 – Determinação da densidade aparente

#### 4.4.3 Densidade real

A densidade real do resíduo seco foi determinada segundo metodologia de Brasil (2005) a partir da relação entre a massa e o volume da amostra, pelo deslocamento de um líquido (óleo de cozinha) em uma proveta. Primeiramente foi colocado o óleo em uma proveta e verificou-se o volume ocupado ( $V_1$ ), em seguida se adicionou uma massa conhecida do resíduo (10 g) e se esperou que a mesma se depositasse totalmente no fundo da proveta, Figura 16. Por fim, se fez a leitura do novo volume indicado pelo nível do óleo ( $V_2$ ). As análises foram feitas em triplicata. A diferença ( $V_2 - V_1$ ) é o volume real do pó. Desta forma, a densidade real foi determinada pela Equação 4.2:

$$= \frac{(\quad)}{(\quad - \quad)(\quad)} \quad (4.2)$$



Figura 16– Determinação da densidade real

#### 4.4.4 Porosidade

A porosidade foi determinada conforme a Equação 4.3 (KEEY, 1991):

$$= 1 - \frac{\quad}{\quad} \quad (4.3)$$

#### 4.4.5 Cinzas

A determinação de cinzas foi realizada conforme metodologia descrita em BRASIL (2005). Os cadinhos de porcelana vazios foram colocados na mufla e deixados a 550 °C por 30 minutos. Depois foram deixados em dessecador até atingir temperatura ambiente. Os cadinhos foram pesados vazios e com uma porção de cerca de dois gramas da amostra, foram levados a mufla a 550 °C, durante cinco horas, até obter uma cinza de cor clara. Após este tempo foram novamente deixados em dessecador e pesados. Os resultados foram expressos em porcentagem (%), de acordo com a Equação 4.4.

$$(\%) = \frac{mf - mi}{mi} * 100 \quad (4.4)$$

Onde:

mf= massa final da amostra;

mi= massa inicial da amostra

#### 4.4.6 Umidade

Para determinar o teor de água, seguiu-se o procedimento de BRASIL (2005), a partir da diferença de massa entre a amostra úmida e a seca. Pesou-se uma porção da amostra em recipientes já tarados, deixando secar em estufa à 105°C. Após 24 horas de secagem, as amostras foram colocadas em dessecador até atingirem temperatura ambiente e, em seguida, pesados em balança analítica. A umidade pode ser calculada em base seca e base úmida de acordo com as Equações 4.5 e 4.6, respectivamente.

$$X_{bu} = \frac{mi \cdot mf}{mi} \times 100 \quad (\text{base úmida}) \quad (4.5)$$

$$X_{bs} = \frac{mi \cdot mf}{mf} \quad (\text{base seca}) \quad (4.6)$$

Onde:

$X_i$ =umidade inicial

$m_i$  = massa inicial

$m_f$  = massa final

#### 4.4.7 Determinação do pH

Para determinação do pH foram separadas amostras contendo 10g de casca, adicionada 100 mL de água destilada sendo este conteúdo agitado por 30 minutos, permanecendo então, em repouso por 10 minutos. A determinação do pH foi feita usando potenciômetro digital. A análise foi realizada em triplicata.

#### 4.5 MEDIDAS DO ÂNGULO DE REPOUSO DINÂMICO

O ângulo de repouso foi determinado pela inclinação de uma plataforma horizontal como mostra a Figura 17. Amostras significativas do material eram espalhadas em camadas sobrepostas sobre a plataforma horizontal. Manteve-se uma camada completa da mesma espessura para a amostra da casca da romã triturada seca e in natura; em seguida, variava-se lentamente o ângulo de inclinação da superfície, até se observar o início do deslocamento do material. A inclinação da superfície no momento em que o material começava a se mover, medida na escala acoplada à estrutura, foi designada como o ângulo de repouso.



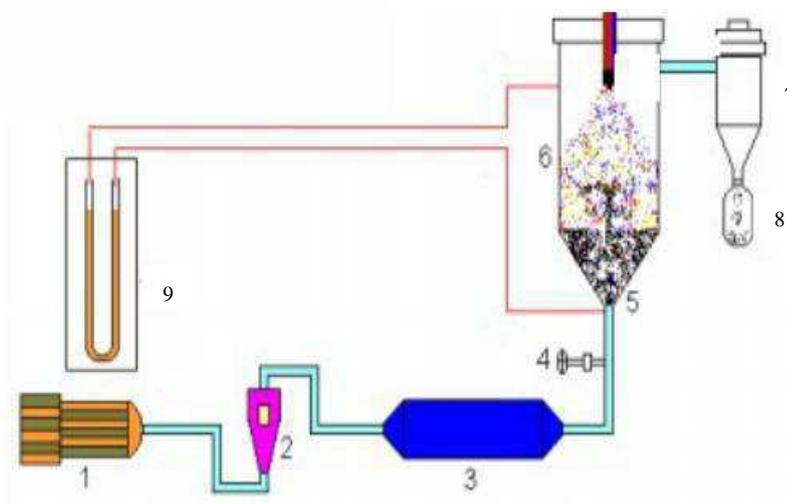
Figura 17 – Plataforma para medida do ângulo de repouso. Fonte: Souza (2009)

#### 4.6 CURVAS CARACTERÍSTICAS

Para a construção das curvas características do leito de jorro constituído de cascas de romã trituradas, foram realizados experimentos com as cascas secas e reumidificada adquiridas na fazenda Tamanduá, Sousa – PB e posteriormente com as cascas in natura trituradas, adquiridas na fazenda boa nova, Petrolina – PE. As curvas foram construídas com alturas do leito de 10, 15 e 22 centímetros e umidades de 20, 64 e 73 %.

Os experimentos constaram da leitura de diferença de pressão, medidas em um manômetro diferencial em U, em função da velocidade de jorro. As curvas características foram graficadas no sentido de velocidade crescente para as umidades de 20, 64 e 73 % e velocidade decrescente apenas para a umidade de 73% (casca in natura) avaliando-se assim o comportamento fluidodinâmico do leito de jorro.

O esquema do secador de Leito de Jorro, sistema experimental utilizado nos ensaios de secagem, pode ser visualizado na Figura 18. O leito convencional é constituído de uma base cônica de acrílico com ângulo de 60 °, acoplada a uma coluna cilíndrica também em acrílico, com diâmetro interno de 15 cm e 44 cm de altura. O ar de secagem é fornecido ao sistema por um compressor e aquecido por um conjunto de resistências. A velocidade do ar na entrada foi encontrada por cálculos mediante o valor da vazão indicada por um rotâmetro. A pressão no leito foi determinada com auxílio de um manômetro diferencial em U. O distribuidor é um cone localizado na base da coluna com diâmetro do orifício de 5,5 cm. O ciclone é utilizado apenas para reter os finos arrastados, sem que se tenha feito acompanhamento do material coletado no mesmo. A temperatura do ar de secagem foi medida através de termopar localizado no ponto 5 (entrada do leito)



LEGENDA :

1. Soprador
2. Rotâmetro
3. Aquecedor
4. Válvula
5. Entrada do Leito
6. Coluna
7. Ciclone

8. Coleta de pó
9. Manômetro em U

Figura 18 – Esquema Experimental do Secador de Leito de Jorro, adaptado de Rocha (2006)

#### 4.7 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL FATORIAL

Segundo BARROS NETO et al. (1996), no planejamento experimental, a primeira atitude, é determinar quais são os fatores (Variáveis de entrada e de Saída) de interesse para o sistema que se deseja avaliar e, em seguida, definir que objetivo se pretende alcançar com os experimentos, para determinar que tipo de planejamento fatorial deva ser utilizado. Estes requisitos são indispensáveis para realização do experimento uma vez que, o método utilizado para análise depende diretamente do planejamento realizado (FREIRE, 1992).

Foi estabelecido um planejamento fatorial  $2^2$  com três pontos centrais mais quatro pontos axiais para a secagem das cascas de romã onde foram estudados os efeitos das variáveis de entrada: temperatura e altura do leito sobre as variáveis respostas rendimentos de fenóis e taninos totais. Os níveis das variáveis de entrada trabalhados são mostrados na Tabela 01. Foi também realizada uma extração com a amostra in natura para comparação dos resultados

Tabela 01 – Matriz experimental dos ensaios de secagem. Configuração  $2^2 + 3$  pontos centrais + 4 pontos axiais

Ensaios	Altura do leito (cm)	Temperatura (°C)
1	10 (-)	50 (-)
2	20 (+)	50 (-)
3	15(0)	65 (0)
4	15 (0)	65 (0)
5	15(0)	65 (0)
6	10 (-)	80 (+)
7	20 (+)	80 (+)
8	15(0)	44(-1,41)
9	8(-1,41)	65(0)

10	22(+1,41)	65(0)
11	15(0)	86(+1,41)
12	In natura	Ambiente

Todos os experimentos planejados são mostrados na Tabela 01. A temperatura e altura do leito foram dados em graus celsius (°C) e centímetros (cm), respectivamente. As respostas são expressas em rendimento de fenóis totais no extrato seco em % e rendimento de taninos totais no extrato seco em %.

#### 4.8 SECAGEM

Para a cinética de secagem, os experimentos foram realizados nas temperaturas de 50, 65 e 80°C e altura do leito de 15 cm com a casca in natura com umidade de cerca de 73%. A velocidade de entrada do ar foi fixada em 3,6 m/s, cerca de 1,2 vezes a velocidade mínima de jorro determinada pelo estudo das curvas características. As amostras com cerca de dois gramas eram colhidas em tempos pré determinados em um orifício que se encontrava na altura de mais ou menos 7,5 cm da coluna, eram pesadas, postas em estufa à 105°C por 24 horas e novamente pesadas. De posse dos resultados de umidade e tempo, se construiu as curvas da cinética de secagem.

As taxas de secagem em função da umidade em base seca foram utilizadas para a determinação da umidade de equilíbrio, que foi estimada a partir da taxa de secagem com o tempo, obtida mediante diferenciação da curva da umidade versus tempo, seguida de extrapolação numérica para obter o ponto onde a taxa de secagem nula.

A razão de umidade  $X^*$  é definida pela Equação 3.7:

$$X^* = RU \cdot \frac{X - X_o}{X - X_\infty} \quad (3.7)$$

onde,

RU – Razão de Umidade

X - umidade média na base seca em função do tempo

$X_o$  - umidade inicial

$X_\infty$  - umidade de equilíbrio com o meio.

Com os valores da razão de umidade foi possível representar graficamente a umidade em função do tempo e fazer o ajuste dos dados experimentais às equações dos modelos semiteóricos de Page (1949), Equação 3.4 e Henderson & Pabis (1961), Equação 3.6.

$$= ( ) (3.4)$$

$$= ( ) (3.6)$$

em que: t = tempo de secagem, (minutos); k = constante de secagem (min.<sup>-1</sup>); n e C representam os parâmetros dos modelos.

Para os experimentos de secagem propostos pela matriz experimental além da velocidade fixa em cerca de 1,2 vezes a velocidade mínima de jorro, determinada visualmente durante a construção das curvas características, foi fixado também os tempos de secagem para cada experimento proposto, baseado nas curvas cinéticas, sendo estes de 30 minutos para as temperaturas de 80 e 86° C, 55 minutos para a temperatura de 65°C e 80 minutos para as temperaturas de 50 e 44°C

## 4.9 EXTRAÇÃO DOS FENÓIS E TANINOS TOTAIS

### 4.9.1 Obtenção dos extratos brutos

Cerca de 5 g da casca de romã triturada, in natura ou seca em leito de jorro nas temperaturas e alturas do leito especificadas pelo planejamento experimental, foram colocadas em erlenmeyers de 250 mL, adicionando-se 50 mL de água. Optou-se pela extração com água, após estudo anterior feito com folhas de hortelã secas em secador de leito fixo, onde para a extração dos compostos fenólicos se trabalhou com metanol, etanol e água como solventes e, o melhor rendimento foi obtido na extração realizada com água como solvente. As amostras postas nos erlenmeyers permaneceram sob agitação numa incubadora shaker da marca SOLAB, Figuras 19 e 20, durante cerca de dois dias, numa temperatura de 30 °C, segundo metodologia descrita por Pansera (2003) com algumas adaptações, como a diminuição do tempo de extração estática por dez dias para extração com agitação por dois dias. Após este tempo, fez-se uma filtração simples com peneira de malha fina, obtendo-se assim os extratos brutos líquidos, Figura 21. Os

extratos brutos líquidos foram colocados em estufa de circulação com temperatura de 50 °C para evaporação do solvente e obtenção do extrato seco, ilustrado na Figura 22.



Figura 19 – Incubadora SHAKER



Figura 20– Amostras submetidas à agitação



Figura 21 – Extratos brutos

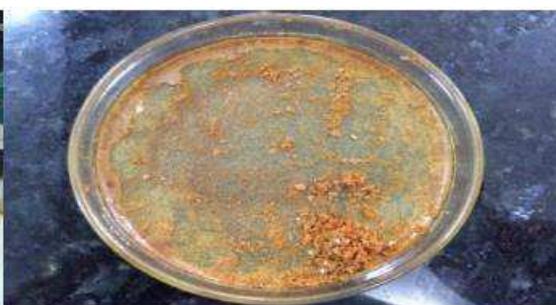


Figura 22 – Extrato seco

#### 4.9.2 Determinação quantitativa dos teores de fenóis totais e taninos totais nos extratos

A caracterização dos princípios ativos pode ser realizada em extratos vegetais por diversas metodologias, permitindo a avaliação simultânea de vários constituintes, podendo ser feita por ensaios cromáticos, cromatográficos, espectroscópicos ou fotométricos, Pachú (2007)

A caracterização química dos extratos foi realizada pela determinação da concentração de taninos totais expressos em termos de ácido tânico.

Para a determinação do teor de fenóis e taninos totais nos extratos, utilizou-se as equações ajustadas as curvas de calibração, obtidas a partir das diferentes concentrações de ácido tânico padrão. O padrão de ácido tânico foi utilizado por ser um tanino hidrolisável e, também, por caracterizar os fenóis e taninos totais pelo método espectrofotométrico. A absorbância foi medida a 760 nm para os fenóis totais e 725 nm para os taninos totais, e uma prova em branco foi utilizada a cada leitura. Na Figura 23 e 24 são mostradas as curvas de calibração.

A metodologia para a dosagem de fenóis e taninos totais foi baseada no método descrito por PANSERA (2003). Assim descrita:

Inicialmente, se construiu duas curvas de calibração com ácido tânico (padrão analítico). As duas curvas foram construídas com concentração de ácido tânico de 0, 5, 10, 30, 50 e 75 mg/L em função da absorbância.

Preparou-se a solução amostra da calibração, com 2 mL da solução padrão em tubo de ensaio, adicionou-se 2 mL do reagente Folin Denis, agitou-se vigorosamente, deixou-se em repouso por 3 minutos, logo após adicionou-se 2 mL de uma solução aquosa de carbonato de sódio 8%, agitou-se vigorosamente e deixou-se em repouso por 2 horas, aguardando o tempo de reação, fez-se então a leitura no espectrofotômetro no comprimento de onda de 760 nm para fenóis totais e 725 nm para taninos totais. Os demais pontos das curvas de calibração foram obtidos de forma semelhante. Foi feita também uma prova em branco utilizando-se no lugar dos 2 mL das soluções preparadas com o ácido tânico, 2 mL de água destilada e procedendo-se a preparação para leitura no espectrofotômetro seguindo os passos explicados anteriormente.

No segundo momento, procedeu-se da mesma forma para amostra experimental, ou seja, extratos vegetais. Cerca de 125 mg de extrato seco foi acrescida de 250 mL de água destilada, sendo mantido sob repouso durante 30 minutos, Figura 25. Foi tomada uma alíquota de 2 mL destas soluções, adicionou-se 2 mL do reagente Folin Denis, deixou-se em repouso por 3 minutos, adicionou-se 2 mL de uma solução aquosa de carbonato de sódio 8%, deixou-se em repouso por 2 horas para completa reação, Figura 26. Logo após o repouso de duas horas, fez-se as leituras no espectrofotômetro, no comprimento de onda de 760 nm para os fenóis totais e 725 nm para os taninos totais.

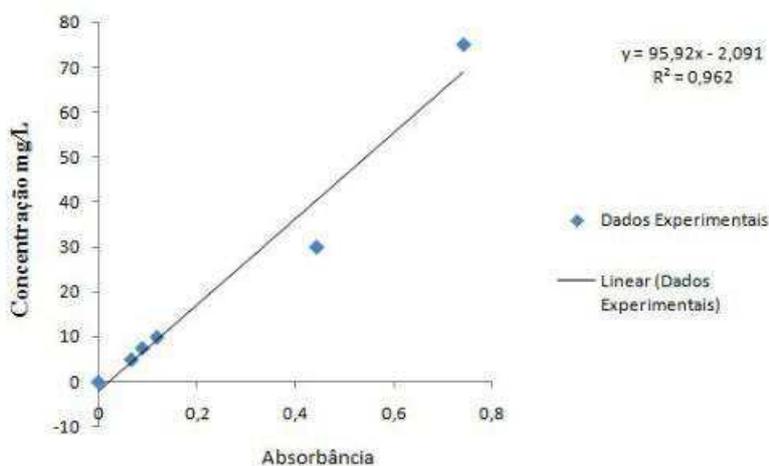


Figura23 – Curva de calibração para fenóis totais

A quantificação de fenóis e taninos totais baseia-se na propriedade de reação dos grupos fenólicos com o reagente Folin Denis formando um complexo que desloca o comprimento da absorção nas regiões de 760 e 725 nm. O carbonato de sódio foi utilizado para ajuste do pH para que ocorra tal reação.

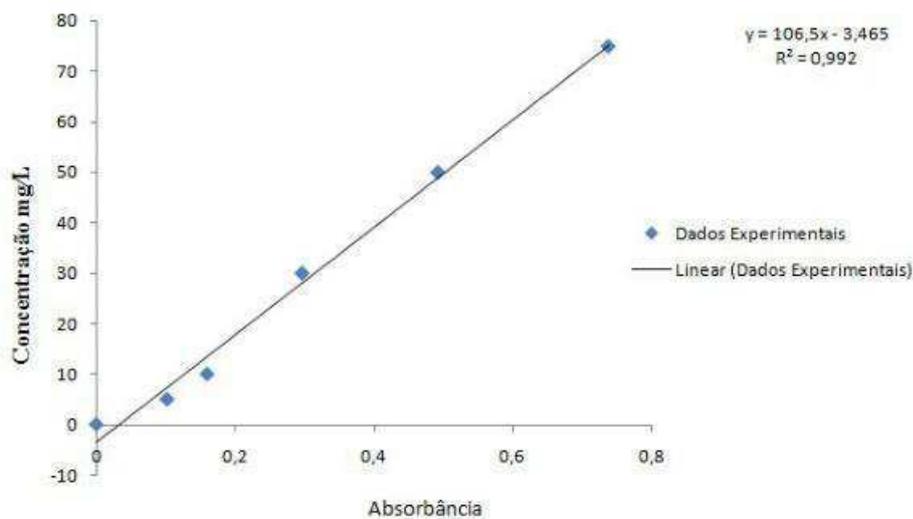


Figura24 – Curva de calibração para taninos totais

Na Figura 25 são mostradas as soluções obtidas pela diluição dos extratos secos e na Figura 26 observa-se o aspecto das amostras prontas para a leitura.



Figura 25– Extrato seco diluído

Figura 26– Amostras prontas para leitura

O espectrofotômetro UV-Visível série Libra S11 / S12 encontrado na Figura 27 foi utilizado para realizar as medidas de absorvâncias relacionadas com as concentrações dos princípios ativos liberados durante o processo de extração.



Figura 27 – Espectrofotômetro, utilizado para a leitura das absorvâncias das amostras

---

# Capítulo V

---

## CAPÍTULO V

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados os resultados para caracterização da casca da romã seca, a curva característica para o leito de jorro que nos permitiu fixar a vazão de ar para o trabalho, a cinética de secagem das cascas de romã triturada, feita em secador de leito de jorro, nas diversas temperaturas e altura de leito definidas no planejamento experimental, bem como o efeito destas duas variáveis sobre os resultados para a extração de fenóis totais e taninos totais.

## 5.1 CARACTERIZAÇÃO DA CASCA DA ROMÃ SECA E IN NATURA TRITURADA

Após o desenvolvimento da metodologia adotada no capítulo IV, foi possível construir a Tabela 02 com os resultados obtidos para caracterizar a amostra das cascas de romã trituradas secas e in natura. Foram determinadas a granulometria, densidade aparente, densidade real, porosidade do leito estático, cinzas, umidade, pH e ângulo de repouso.

Tabela 02 – Características físicas da casca da romã (*Punica granatum*) triturada seca e in natura

Características	Valores Encontrados	Valores Encontrados
	(Média)in natura	(Média) Casca seca
Tamanho médio das partículas (mm)	2,55±0,52	2,47±0,39
Densidade aparente (g/cm <sup>3</sup> )	0,42±0,0	0,34±0,0
Densidade real (g/cm <sup>3</sup> )	1,06±0,0	1,10±0,0
Porosidade do leito estático	0,60±0,0	0,69±0,0
Cinzas (%)	2,03±0,04	1,85±0,19
Umidade (%)	73,2±0,41	19,9±0,47
pH	3,54±0,01	3,89±0,03

De acordo com o programa de processamento de imagens, ImageJ, foi possível montar um histograma de distribuição do tamanho das partículas da amostra da casca da romã triturada apresentou uma média de 2,55 mm como mostrado na Figura 28.

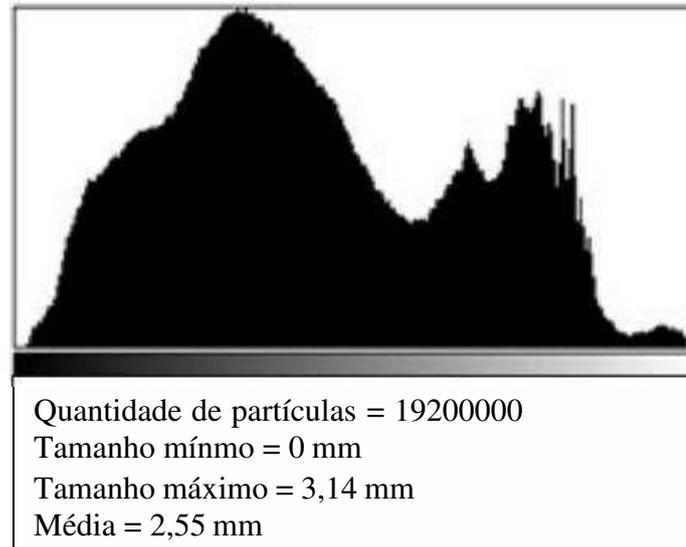
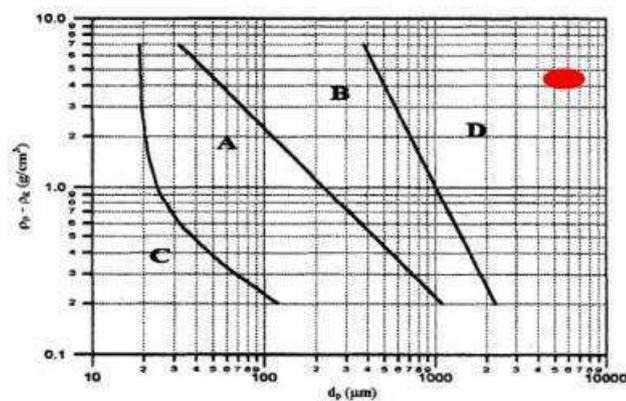


Figura 28 - Histograma de distribuição do tamanho das partículas

O histograma representa uma escala de cinzas onde a partir de um limiar definido é possível distinguir partículas de espaços vazios e um algoritmo interno faz a contagem das partículas e determinação de valores como o diâmetro médio e tamanho do diâmetro máximo e mínimo das partículas.



Legenda: ● Cascas de romã trituradas.

Figura 29 - Diagrama simplificado mostrando a classificação das partículas segundo seu comportamento durante a fluidização em ar (Geldart 1973)

Onde :

$d_p$  = diâmetro da particular

$\rho_p$  = densidade da particular

$\rho_g$  = densidade do gás (ar)

A Figura 29 mostra o diagrama onde pode-se distinguir o comportamento das partículas durante a fluidização conforme o esquema de Classificação por Grupos sugerido por Geldart.

De acordo com a Tabela 02 as cascas de romã trituradas encontram-se na região D como mostrado na Figura 29 e, portanto, de acordo com a classificação de Geldart (1973) são adequadas para o leito de jorro com uma fluidodinâmica estável.

Com relação à densidade aparente o resultado encontrado para a casca triturada está de acordo com Luengo (2008) que diz que a densidade aparente de hortaliças e cascas de frutas varia de 0,14 a 0,69.

O resultado da análise de cinzas totais na romã foi de 1,85 % , valores próximos foram relatados por Jardini & Mancini Filho, 2007, já o resíduo mineral para polpa e sementes apresentado em Santos et al (2008) foi, respectivamente 2,09 % e 0,86 % , sendo estes condizentes com os obtidos no presente trabalho.

Os Padrões de Qualidade e Identidade (PIQ's) para polpas de fruta, determinam que o valor de pH deva ser de 3,30 a 4,50 (BRASIL, 2000). Segundo Franco & Landgraf (2001), o pH do alimento é um dos principais fatores que determina o crescimento, a sobrevivência ou destruição dos microorganismos nele presentes. Segundo Ribeiro & Seravalli (2004), a classificação dos alimentos com relação ao pH é descrita da seguinte forma: alimentos de baixa acidez ( $pH > 5$ ), alimentos ácidos ( $pH$  entre 4,5 e 4,0) e alimentos bastante ácidos ( $pH < 4,0$ ) A casca da romã apresentou pH igual a 3,54, valor bem próximo ao da polpa e se caracteriza como produto bastante ácido, no qual o desenvolvimento microbiano está restrito à leveduras e bolores, podendo haver algumas bactérias lácticas e acéticas, conforme Franco & Landgraf (2001). Valores similares foram encontrados no suco da romã, sendo um máximo de 3,57 na fase totalmente madura (Santos et. al. 2010). A grande maioria dos valores de

pH em frutas encontra-se entre 3 e 5, mostrando-se o limão e a carambola abaixo destes valores e, acima deles, o mamão, o abacate, a melancia, o caqui, o figo, a laranja lima e a lima da Pérsia.

Como é possível observar na Tabela 02, a casca romã apresenta umidade alta (73,2%). O valor encontra-se dentro da faixa descrita por Franco & Landgraf (2001), (74 a 94%) para a maioria dos produtos vegetais. (Devilla et. al 2012) apresentam valores para o teor de água inicial de 2,76 em base seca para a casca da romã, o que daria 276 % concordando assim com o resultado apresentado de 73% em base úmida o que nos dá uma umidade em base seca em torno de 275,57%.

Os valores para o ângulo de repouso foram de 57° e 27° para as cascas da romã trituradas in natura e secas, respectivamente. De acordo com a descrição de Bhandari et. al. (1998) os materiais que apresentam ângulo de repouso menores que 45°, têm a capacidade de escoamento livre, enquanto ângulos acima de 50° coesividade ou problemas de escoamento. O valor encontrado para a casca triturada in natura apresentou-se acima da faixa para materiais que apresentam capacidade de escoamento livre, apesar disto, as partículas úmidas apresentaram jorro estável e pouca adesão entre elas e na parede da coluna. Podemos atribuir isto ao fato de que a secagem é rápida, atingindo logo valores adequados de escoabilidade. Efetivamente as partículas secas apresentaram ângulo de repouso bem dentro da faixa de materiais com boa escoabilidade.

## 5.2 CURVAS CARACTERÍSTICAS– ESTUDO PARA AS CONDIÇÕES IDEAIS DE SECAGEM

Com os estudos feitos para as condições ideais de secagem foi possível construir o gráfico apresentado na Figura 30 que mostra o comportamento das amostras da casca triturada da romã durante a secagem em leito de jorro em três umidades iniciais diferentes, cascas secas, com umidade de 20 %, cascas recebidas da fazenda Tamanduá, reumidificadas com 64 % e cascas despulpadas adquiridas no mercado de hortaliças vindas da fazenda boa fruta, in natura com umidade de 73 % e duas alturas para alimentação do leito de 15 e 20 cm o que equivale a uma massa de 2000 e 2500 g respectivamente.

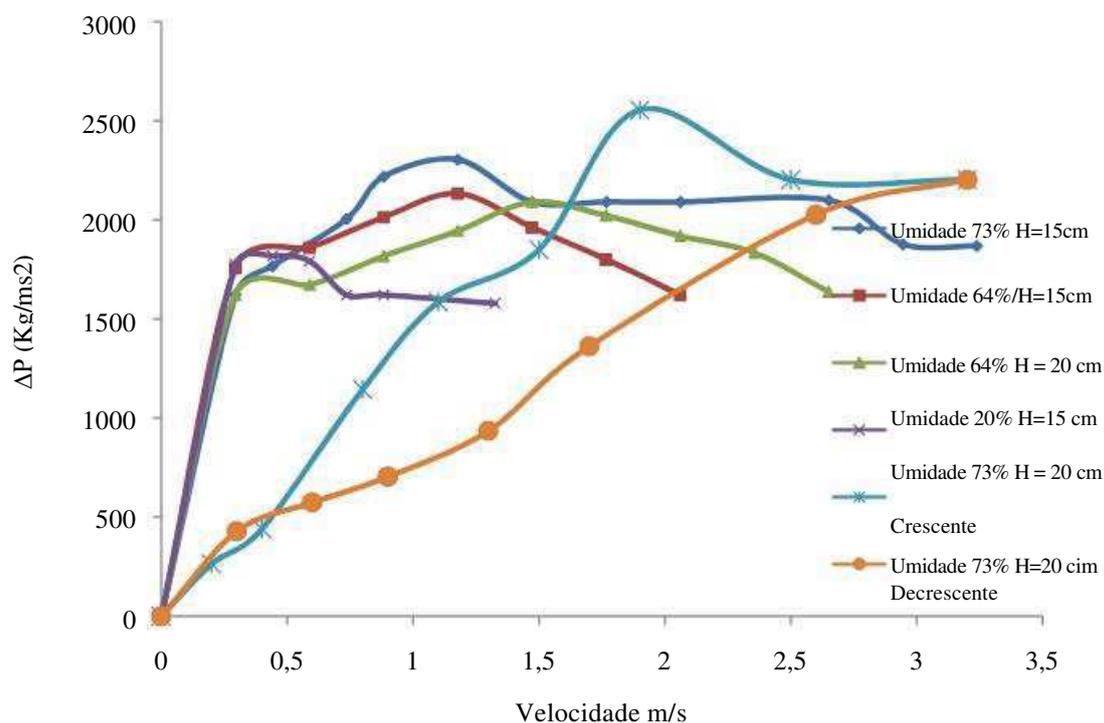


Figura 30 – Queda de Pressão no leito de jorro em função da velocidade do ar de entrada.

Os dados fluidodinâmicos mostrados na Figura 30 foram obtidos em triplicata para cada condição de umidade e altura de leito com objetivo de determinar a velocidade mínima de jorro a queda de pressão máxima e a queda de pressão na condição de jorro mínimo. Nota-se que as curvas apresentadas têm a configuração típica de leito de jorro, conforme mostrado na Figura 07, Mathur e Epstein (1974).

Pequenas velocidades do ar percolam os espaços vazios do leito, nos trechos iniciais, sem perturbar as partículas. Tal comportamento é similar ao de um leito fixo. Com o aumento da velocidade do ar, as partículas próximas ao orifício de entrada do gás se deslocam, ocasionando a formação de uma cavidade na região central, ainda mais resistente à passagem do ar, provocando uma maior queda de pressão no leito. À medida que a vazão do gás aumenta, a cavidade vai se alongando e formando um jorro interno. A queda de pressão continua a aumentar até atingir o valor máximo ( $\Delta P_{\text{máx.}}$ ), neste ponto, o efeito do jorro interno é maior que a da camada sólida que limita a cavidade, e a queda de pressão, conseqüentemente, passa a diminuir.

Posteriormente, a quantidade de partículas deslocadas do núcleo central já é suficiente para provocar uma expansão considerável do leito. Essa expansão é

geralmente acompanhada por expansões e contrações alternadas do jorro interno, resultando em instabilidade e flutuações na queda de pressão, qualquer incremento na vazão do gás além desta última descrita, é conhecido como jorro incipiente, faz com que a queda de pressão caia bruscamente, e há o afloramento do jorro através da superfície do leito. Neste ponto, a vazão é denominada vazão de jorro mínimo, e a queda de pressão ( $\Delta P_{jes}$ ) torna-se constante e um aumento na vazão do gás provoca somente a elevação da fonte. Para a amostra com umidade de 20% foi possível obter um jorro estabilizado na velocidade média de 1,3 m/s, já para as umidades de 64 e 73% intermediária o jorro estabilizou-se com velocidades de 2 a 3 m/s, de acordo com as observações, foi possível ter informações para fixar a vazão de ar nos experimentos de secagem.

A partir das curvas características do leito de jorro, que apresentaram comportamento característico relatado na literatura, foram determinadas a velocidade de jorro mínimo, as quedas máximas de pressão no jorro e as quedas de pressão no jorro estável, cujos resultados estão exibidos nas Tabelas 03 e 04. Devido à alta umidade e a secagem rápida, o levantamento das curvas características não é simples, ocorrem mudanças rápidas de umidade e portanto, das características do material durante o levantamento. Na curva decrescente por exemplo, o material já está mais seco que no início, devido ao tempo de exposição ao ar de secagem de pelo menos 20 minutos para o levantamento das curvas. Nestes casos, costuma-se determinar visualmente a velocidade mínima de jorro, no momento de afloramento do mesmo.

Conforme observa-se nas tabelas todas as variáveis fluidodinâmicas aumentaram com o aumento da umidade das amostras e carga, (salvo o  $\Delta P_{máx}$  para os dados experimentais, com a carga de 20 cm que foi menor que com 15 cm). Para trabalhos posteriores pode-se dimensionar a potência do soprador necessária para obtenção do jorro a partir dos dados da queda de pressão máxima. Nas mesmas tabelas são comparados os resultados experimentais com os obtidos a partir de correlações da literatura.

Tabela 03 – Velocidade mínima de jorro

Ai (cm)	Xi (%)	V <sub>mj</sub> (m/s)	V <sub>mj</sub> (m/s) Mathur e Gishler	Desvio Médio (%)	V <sub>mj</sub> (m/s) Choi e Meisen	Desvio Médio (%)	V <sub>mj</sub> (m/s) Olazar et al	Desvio Médio (%)
							1,42	41
15	20	0,6	0,94	17	0,78	9	1,56	10
15	64	1,76	1,97	36,5	1,83	3,5	1,48	29
22	64	2,06	2,68	47,5	1,94	6	1,57	54
15	73	2,65	3,2	64,5	2,71	3		

Observa-se na Tabela 03 que os menores desvios dos valores preditos foram obtidos com a correlação de Choi e Meisen (1992), quando comparados com os dados experimentais, resultando em variações de 3 a 9 %, nota-se que valores estimados para a velocidade de jorro mínimo foram maiores que os valores experimentais. Para a correlação de Mathur e Gishler (1955) foram encontrados valores para o desvio médio entre 17 e 64,5 %, os valores estimados para a velocidade mínima de jorro também se apresentaram maiores que os encontrados experimentalmente. Finalmente para a correlação de Olazar et al (1994), foram encontrados valores para os desvios médios de 10 a 54 % já os valores estimados para a velocidade mínima de jorro foram menores que os observados experimentalmente. Desta forma dentre as correlações, a correlação de Choi e Meisen (1992), pode ser utilizada de forma satisfatória para a predição da velocidade mínima de jorro da casca da romã para as umidades de 20, 64 e especialmente a de 73% que foi a umidade média encontrada para a casca in natura, alvo do nosso estudo de secagem e extração dos princípios ativos.

Como se pode observar a correlação de Becker (1961) prevê queda máxima de pressão inferior a obtida experimentalmente, a correlação de Ansejo et al prevê quedas de pressão mais elevadas que as experimentais, ambas com grandes valores de desvios médios. Os altos valores podem ser atribuídos ao fato de que estes autores utilizaram produtos diferentes para o desenvolvimento das correlações. Resultados semelhantes foram encontrados por Alcivan Neto (2013) durante a secagem de grãos de girassol em leito de jorro. A correlação proposta por Ogino et al (1993) apresentou menor desvio médio em relação aos valores experimentais, sendo o valor de desvio médio de 33,5 % .

Os resultados mostram que é possível operar de modo estável mesmo com a casca in natura, que possui um elevado teor de umidade e valor para o ângulo de repouso de 57°, o que reduziria à escoabilidade da mesma por problemas de coesividade ou escoamento, com formação de aglomerados entre às partículas e aderência as paredes do leito. Podemos atribuir isto ao fato de que a secagem é rápida, atingindo logo valores adequados de escoabilidade. Efetivamente, as partículas secas, apresentaram ângulo de repouso bem dentro da faixa de materiais com boa escoabilidade.

Tabela 04 – Queda de Pressão Máxima  $\Delta P_{mx}$ (Pa)

$A_i$ (cm)	$X_i$ (% bu)	$\Delta P_{mx}$ (Pa)	$\Delta P_{mx}$ (Pa) Becker	Desvio Médio (%)	$\Delta P_{mx}$ (Pa) Asenjo et. al	Desvio Médio (%)	$\Delta P_{mx}$ (Pa) Ogino et. al	Desvio Médio (%)
15	20	1817	963,6	426,7	2571,8	377,4		
15	64	2133	1155,9	488,55	2875,7	371,35	1765	26
22	64	2091	1348,6	371,2	2654,6	281,8	2143	5
15	70	2300	1543,9	378,05	2743,2	221,6	2254	81,5
							2367	33,5

### 5.3 CINÉTICA DE SECAGEM EM LEITO DE JORRO

Com a velocidade do ar definida a partir dos dados fluidodinâmicos como sendo 1,2 vezes a velocidade do jorro estável o que permite uma boa operação do equipamento, assegurando a estabilidade do jorro. Para a umidade de 73% ficou em torno de 3,6 m/s, partiu-se então para o estudo do comportamento da amostra submetida à secagem em função do tempo. Se escolheu a altura de alimentação do leito de 15 cm por ser a altura média e nos permitir ter noção do comportamento na altura mínima e máxima e se procedeu a secagem nas três temperaturas de 50, 65 e 80 °C correspondentes a matriz experimental proposta na metodologia. Na Figura 31 são mostradas as curvas de evolução da umidade normalizadas na base seca :  $X/X_i$  durante a secagem nas três temperaturas.

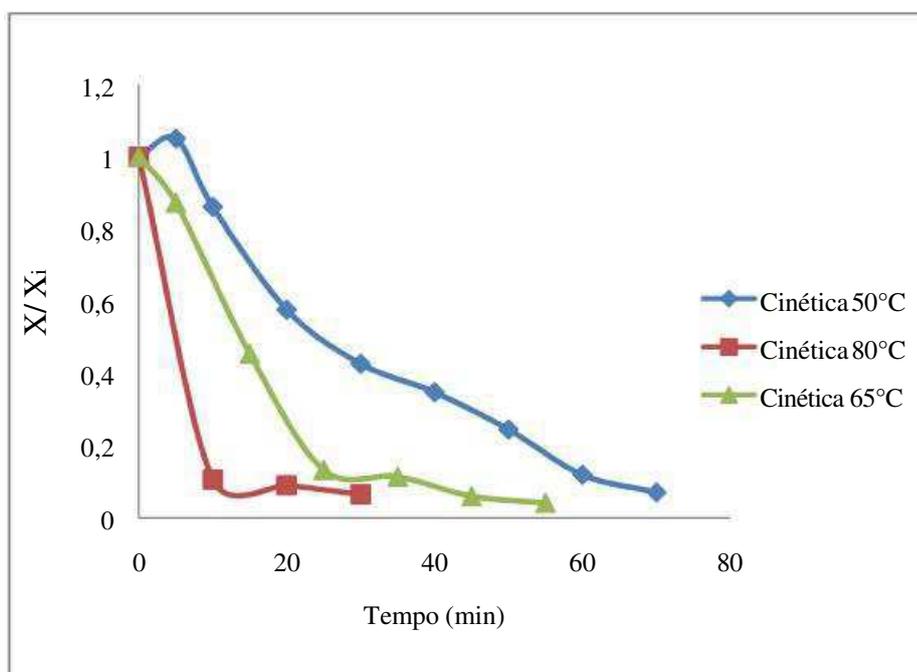


Figura 31 – Cinética de secagem nas temperaturas de 50, 65 e 80 °C da casca de romã triturada, A=15 cm, X= 73%.

Os experimentos foram feitos em triplicata conforme metodologia descrita no Capítulo IV e as curvas graficadas com os valores médios das umidades encontradas. Pelas curvas mostradas na Figura 31 observa-se que, como esperado, a perda de massa é mais rápida na secagem de maior temperatura. Observa-se também que na temperatura de 80°C foi possível atingir o equilíbrio com apenas 30 minutos de secagem no leito de jorro. Para a temperatura de 65 °C a umidade de equilíbrio foi alcançada com cerca de 55 minutos e já para a temperatura de 50 °C o tempo médio para o equilíbrio da

umidade ser atingido foi cerca de quatro vezes maior que na temperatura de 80°C, em torno de 75 minutos.

A Figura 32 representa as taxas de secagem em função da umidade para os experimentos nas temperaturas de 50, 65 e 80°C.

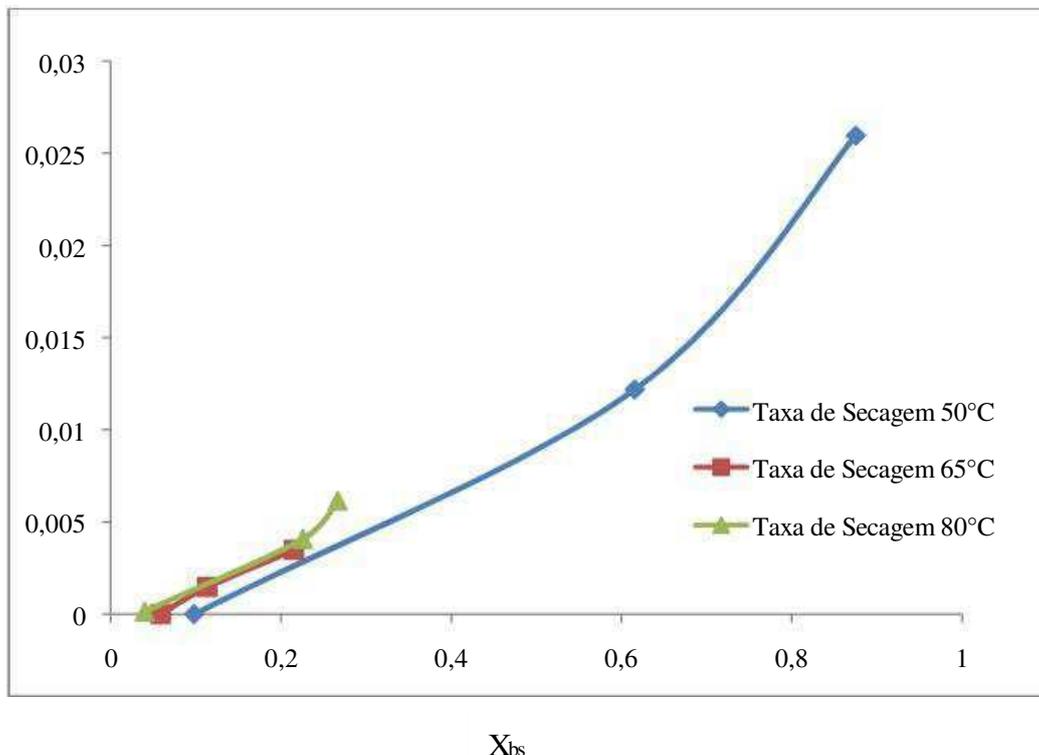


Figura 32 - Taxas de secagem em função da umidade em base seca

Na Figura 32 observa-se apenas períodos decrescentes o que mostra que a secagem ocorre rapidamente com taxa saltas de transferência de calor e massa.

A umidade de equilíbrio  $X_{\infty}$ , foi estimada a partir da evolução da taxa de secagem com o tempo, Figura 32 obtida mediante diferenciação da curva de secagem, seguida de extrapolação numérica para obter o ponto de taxa de secagem nula. Na Tabela 05 são representados os resultados obtidos

Tabela 05.- Umidade de equilíbrio dinâmica

T	50°C	65°C	80°C
H	15 cm	15 cm	15 cm
$X_{\infty}$	0,09	0,06	0,04

Para todos os experimentos realizados no leito de jorro, independente da temperatura, foi atingida uma taxa de secagem nula, sendo determinadas as umidades de equilíbrio que coincidem com as umidades finais atingidas para cada condição do processo. A mais baixa umidade foi encontrada na temperatura de 80 °C.

As atividades de água foram medidas à 25 °C para as amostras secas nas três temperaturas do estudo cinético 50, 65 e 80 °C e estão apresentadas na Tabela 06.

Tabela 06- Atividade de água

T	50°C	65°C	80°C
$a_w$	0,805	0,784	0,470
$X_{bs}$	0,178	0,098	0,046

Podemos observar na Tabela 06 que os valores das atividades de água para as amostras secas à 50 e 65 °C encontram-se numa faixa em que pode haver crescimento de microorganismos (bactérias e leveduras). O valor limite da atividade de água para o desenvolvimento de qualquer microorganismo é 0,60 (Rocha, 2010). Observa-se também que os valores para a umidade respectiva à cada atividade medida, foram maiores que os valores encontrados para a umidade final ao término da secagem. Como as atividades de água foram medidas cerca de quatro meses após a secagem, provavelmente ocorreu um armazenamento ruim das amostras o que acarretou em aumento da umidade e valores mais altos de atividades de água. Já para a amostra seca à 80 °C o valor da umidade medido após quatro meses, foi bem próximo da umidade final encontrado logo após a secagem e o valor da atividade de água encontra-se abaixo do valor limite para o desenvolvimento de qualquer microorganismo, o que indica que houve um acondicionamento correto da mesma.

É importante destacar a eficiência do secador no que se refere a eliminação da maior parte da umidade presente na casca triturada em tempos de processamento muito curtos, especialmente na temperatura de 80°C, com cerca de apenas 30 minutos de secagem. Devilla et. al (2012) encontraram tempo de secagem para a casca da romã em uma estufa de ar forçado, até atingirem o teor de água de equilíbrio de 0,15; 0,06 e 0,05 b.s. para as temperaturas de 50, 60 e 70 °C respectivamente com tempos de aproximadamente 3; 4,75 e 6,5 horas, respectivamente. Também Alcivan Neto (2013) ao comparar a secagem de grãos de girassol observou que na secagem por exemplo à 70

°C o leito de jorro mostra-se bem mais eficiente com relação a secagem na estufa com relação ao tempo, sendo estes de 158 minutos para estufa e 30 minutos para o leito de jorro. Uma comparação entre a secagem de grãos de trigo em micro-ondas e leito de jorro foi proposta por Kahyaoglu et al. (2010). A secagem foi realizada com as temperaturas de 50, 70 e 90 °C para o jorro e com potências de 288 e 624 W para o micro-ondas. Os autores concluíram que as condições mínimas de operação, com a temperatura de 50 °C para o jorro e 288 W de potência para o micro-ondas são as melhores do ponto de vista tanto do produto obtido quanto do gasto energético. No entanto, o jorro apresentou um tempo de secagem ainda mais rápido quando comparado com o micro-ondas.

Todavia, é importante se observar que para uma análise mais precisa da viabilidade do processo, é necessário avaliar a eficiência energética do secador de jorro frente à secagem em camada fina.

#### 5.4 MODELAGEM DOS DADOS DE SECAGEM DAS CASCAS DE ROMÃ NO LEITO DE JORRO

Existem alguns métodos propostos para analisar-se a secagem em leito de jorro de produtos higroscópicos, com alto nível de complexidade, porém, os métodos semi-empíricos oferecem um compromisso entre a teoria e a aplicação sem, entretanto, refletirem toda a complexidade do fenômeno. Baseiam-se, geralmente, na lei de resfriamento de Newton aplicada à transferência de massa, presumindo-se que, durante a secagem, as condições sejam isotérmicas e que a transferência de umidade se restrinja à superfície do produto (Syarief et al., 1989).

Os modelos de secagem baseados na teoria de difusão de líquido têm sido preferidos por muitos pesquisadores na área de secagem de alimentos e grãos (Igbeka, 1982; Mulet et al., 1989; Sereno e Medeiros, 1990; Queiroz e Nebra, 1997) embora existam algumas suposições a serem consideradas para aplicação desses modelos que, quando utilizadas para produtos biológicos estas suposições são normalmente consideradas satisfeitas. Os modelos macroscópicos para transferência de calor e massa em leito de jorro, muitas vezes são baseados na suposição de mistura perfeita, tanto para as distribuições de umidade como de temperatura. Esta hipótese é perfeitamente aceitável no leito de jorro, já que a circulação de sólidos pode levar efetivamente a uma

mistura perfeita. Isto justificaria a utilização de modelos cinéticos empíricos de secagem utilizados normalmente para camada delgada.

Aos dados experimentais de secagem das cascas de romã no leito de jorro foram aplicados os modelos de Page, Equação 2.4 e Henderson e Pabis, Equação 2.6. Para a determinação dos parâmetros dos modelos utilizou-se o software LAB Fit Curve Fiting – V 7.2 48 – (1999- 2011). Foi desconsiderado o encolhimento e para o cálculo da razão de umidade foi considerada a umidade de equilíbrio atingida em cada experimento. Os parâmetros obtidos para cada modelo ajustado com os respectivos coeficientes de correlação são apresentados na Tabela 07.

Tabela 07 – Modelos ajustados aos dados de secagem da casca de romã em leito de jorro

Condições		Page			Henderson e Pabis		
T (° C)	A(cm)	K	N	R <sub>2</sub>	C	K	R <sub>2</sub>
50	15	0,52 E-2	0,15	0,982	0,11	0,035	0,964
65	15	0,96E -2	0,16	0,996	0,10	0,06	0,974
80	15	0,13E +1	0,37	0,999	0,99	0,31	0,999

Na Tabela 07 encontram-se os valores dos parâmetros dos modelos de Page e Henderson e Pabis ajustados aos dados experimentais das cinéticas de secagem das cascas da romã nas temperaturas de 50, 65 e 80°C e os coeficientes de determinação (R<sub>2</sub>).

Como se observa nos dados apresentados na Tabela 07, tanto o modelo de Page quanto o de Henderson e Pabis se ajustaram bem aos dados experimentais da razão de umidade em função do tempo. Para as três temperaturas utilizadas, verificou-se que todos os modelos apresentaram coeficientes de determinação (R<sub>2</sub>) superiores a 0,96, o que segundo Madamba et al. (1996) significa um bom ajuste dos modelos para representação do fenômeno de secagem. Para o modelo de Page, observou-se que os parâmetros k (constante de secagem) e n (parâmetro adimensional de secagem)

aumentam com o aumento da temperatura e que para a temperatura de 80 °C os pontos experimentais adequam-se melhor ao modelo, apresentando coeficiente de determinação de 0,999. Para o modelo de Henderson e Pabis, verificou-se que a constante C (parâmetro adimensional de secagem) diminui na ordem de 0,01 da temperatura de 50 para a de 65 °C e aumenta quando ajustada aos pontos experimentais na temperatura de 80 °C. Já para o parâmetro k (constante de secagem), o modelo de Henderson & Pabis aumenta com o aumento da temperatura assim como ocorre com o modelo proposto por Page. Também como ocorre com o modelo proposto por Page, para a temperatura de 80 °C o modelo de Henderson e Pabis apresentam o melhor ajuste aos pontos experimentais, apresentando coeficiente de determinação de 0,999. De maneira geral, o modelo de Page se ajustou um pouco melhor em relação ao modelo de Henderson e Pabis, podendo ser utilizado na estimativa das curvas de secagem das cascas de romã trituradas. Os resultados encontrados neste trabalho, mostrando que a equação de Page foi a que apresentou melhor ajuste aos dados experimentais de secagem, estão de acordo com os resultados encontrados por diversos autores para diferentes produtos agrícolas White et al., 1981; Soares, 1986; Ramos et al., 1993/ 1994; Christ, 1996. Também Bruce (1985), afirma que o modelo proposto por Page descreve melhor o processo de secagem de produtos agrícolas que o modelo exponencial. Souza et al (2004) durante estudo sobre modelos matemáticos para estudo de secagem de feijão macassar verificou também que diante dos resultados obtidos para as condições em que foram realizados os experimentos, o modelo matemático sugerido por Page para secagem é o que melhor representa os dados experimentais, com coeficientes de determinação variando de 97,8 a 98,7%, quando comparada com a equação de Thompson, com coeficientes de determinação variando de 97,4 a 97,9 %. Embora várias teorias tenham sido propostas para prever o comportamento da secagem, na maioria das vezes as relações semi-empíricas e empíricas têm-se mostrado como melhores opções para prever o processo de secagem, apesar de sua validade estar restrita às condições sob as quais os dados experimentais foram obtidos. Devilla et al. (2012), afirmam também que o modelo de Page, para secagem da casca da romã em estufa, seria o mais indicado para as três temperaturas testadas por eles.

Os valores experimentais e preditos pelos modelos para razão de umidade em função do tempo estão ilustrados nas Figuras 33 à 38. Em todas as curvas observa-se que os dados preditos pelos modelos reproduzem bem os valores experimentais.

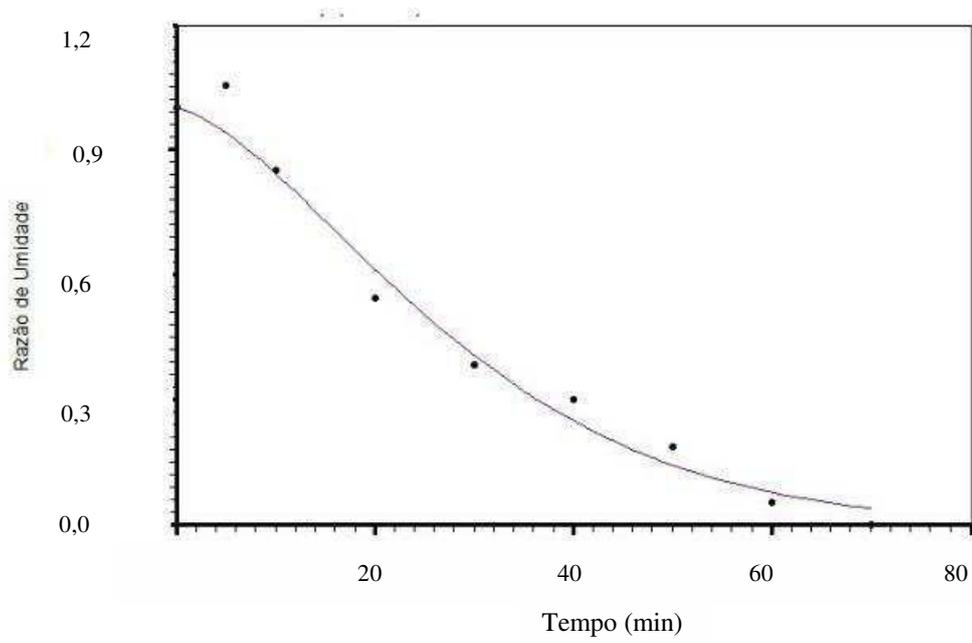


Figura 33 – Ajuste ao modelo de Page para a Temperatura de 50°C

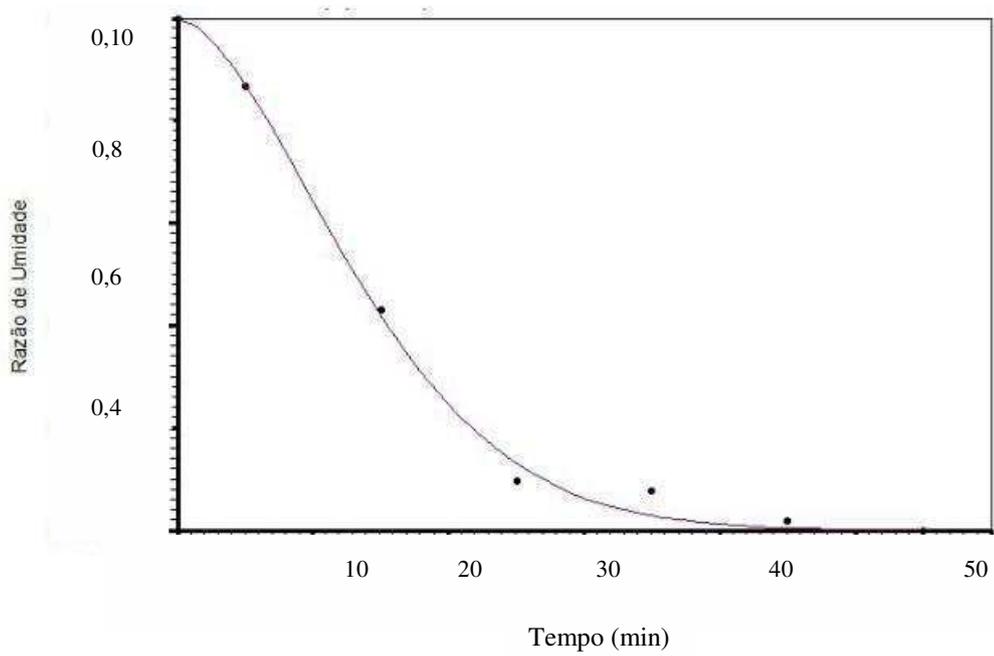


Figura 34 – Ajuste ao modelo de Page para a Temperatura de 65 °C

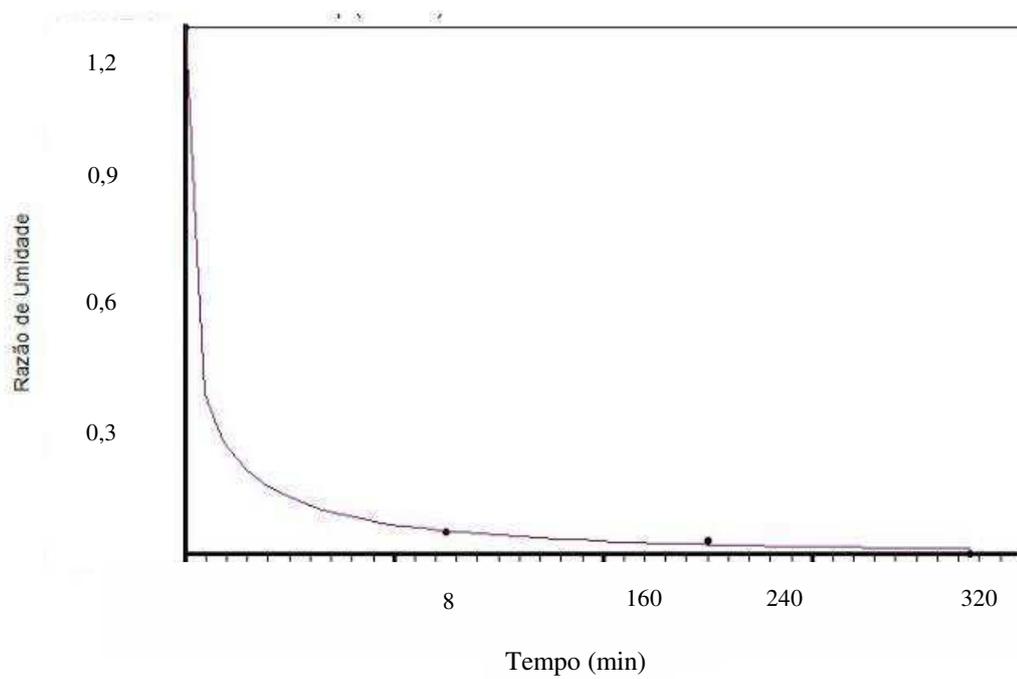


Figura 35 – Ajuste ao modelo de Page para a Temperatura de 80 °C

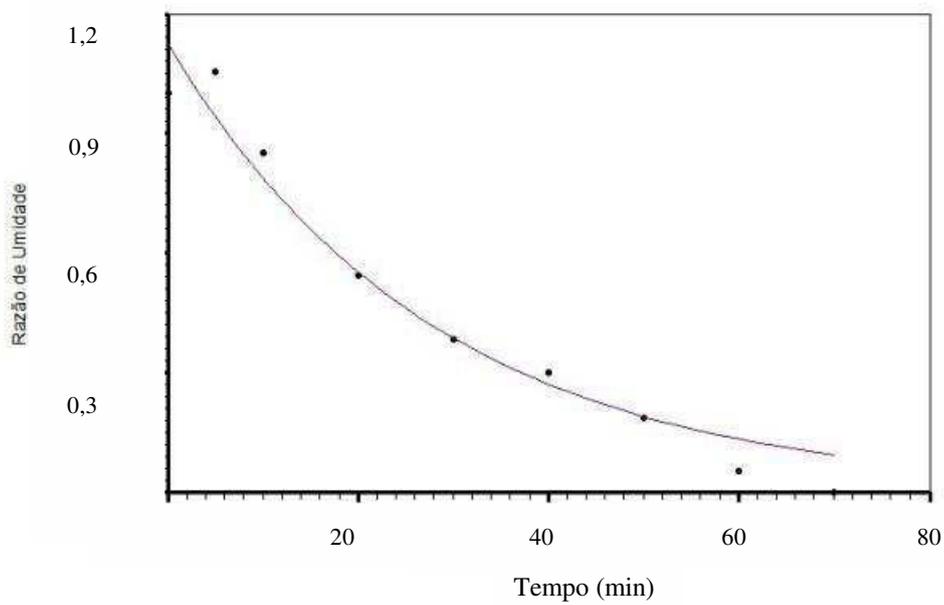


Figura 36 – Ajuste ao modelo de Henderson & Pabis para a Temperatura de 50 °C

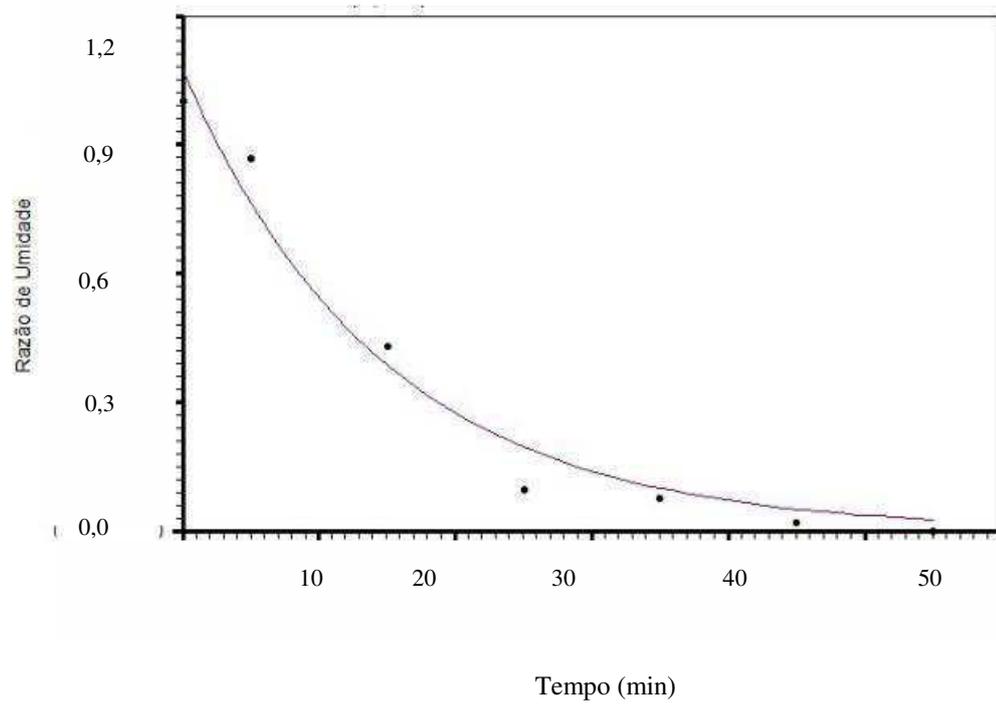


Figura 37 – Ajuste ao modelo de Henderson & Pabis para a Temperatura de 65 °C

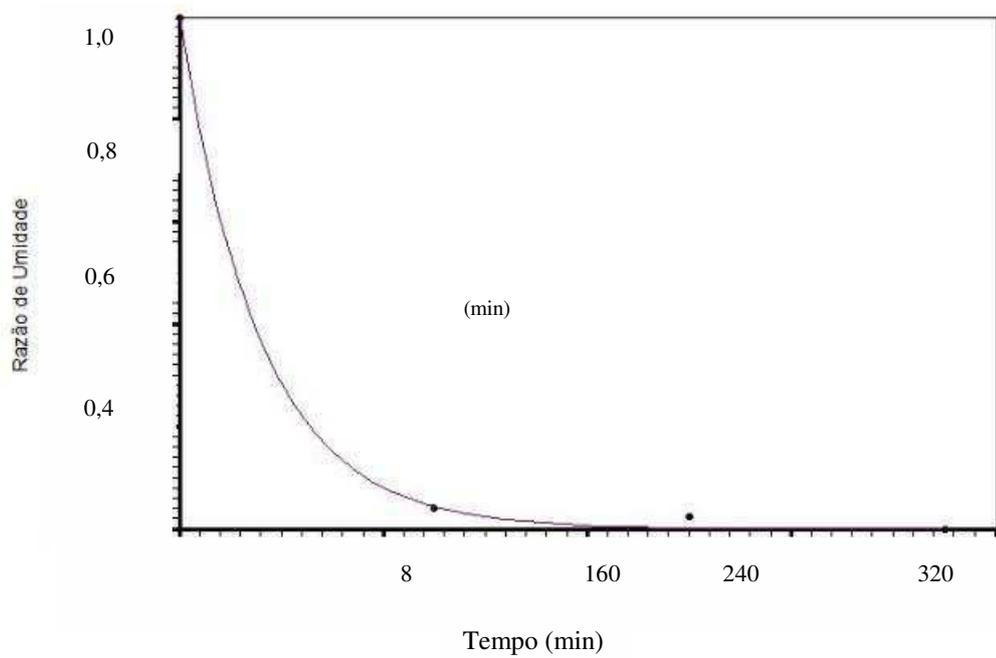


Figura 38 – Ajuste ao modelo de Henderson & Pabis para a Temperatura de 80 °C

## 5.5 DETERMINAÇÃO DO RENDIMENTO DE FENÓIS TOTAIS E TANINOS TOTAIS

A determinação do teor de fenóis totais e taninos totais extraídos com água foi realizada conforme métodos descritos no capítulo 4. Os resultados encontram-se na Tabela 08.

Tabela 08– Rendimento de fenóis totais e taninos totais extraídos sob condições de secagem do planejamento experimental

Condições		Rendimento Fenóis Totais no extrato seco (%)	Rendimento Taninos Totais no extrato seco (%)
T	H		
80	20	57,94	32,94
80	10	56,02	30,81
50	10	77,12	47,85
50	20	82,87	58,50
65	15	73,32	52,11
65	15	73,28	56,37
65	15	75,20	49,98
44	15	79,04	58,50
65	8	71,36	52,11
65	22	77,12	58,50
86	15	52,18	26,55
In	Natura	86,71	60,63

Em relação ao método de extração, observou-se que o mesmo foi efetivo para a extração de fenóis e taninos totais. A Tabela 08 mostra valores resultantes da quantificação de fenóis e taninos totais em porcentagem de casca da romã, obtidos conforme cálculos especificados na metodologia. Para uma melhor comparação, o rendimento das cascas in natura também é expresso.

De acordo com a Tabela 08, pode-se perceber que os maiores rendimentos de fenóis e taninos totais foram obtidos na extração das cascas secas na condição de temperatura mais branda (50 °C), sendo este rendimento ligeiramente inferior ao da extração in natura, para os fenóis totais, possivelmente devido a que durante a secagem a água foi retirada e os princípios ativos encontravam-se mais concentrados na casca seca. Pode-se dizer que a secagem favoreceu o rendimento na extração de fenóis e taninos totais para esta condição.

Quando se aumenta a temperatura de secagem em torno de mais 15 °C, de 50 para 65 °C há uma queda no rendimento com relação à extração da amostra in natura,

devido à degradação térmica destes princípios ativos em temperaturas superiores à 50 °C. Julkunen Tiito e Sorsa (2001) estudando o efeito dos métodos de secagem para flavonóides, taninos e salicilatos observaram que o calor empregado nas secagens (60 e 90 °C) pode determinar mudanças na composição dos fenólicos. Para os flavonóides, (+) catequinas e taninos condensados o calor causou forte decomposição ( a 60 °C, diminuição de 40% e a 90 °C, de 79% em relação às plantas in natura). As plantas medicinais são sensíveis ao processo de secagem e as temperaturas a que são submetidas podem causar alterações na quantidade e qualidade dos princípios ativos, principalmente nos teores de óleo essencial, porém no geral, temperaturas entre 40 °C e 60 °C são as mais indicadas independentes do método de secagem (Melo et al., 2004; Blank et al., 2007). (Pachú et. al. 2007) observaram diminuição do rendimento de compostos fenólicos da Milona e da Hortelã quando aumentou a temperatura de secagem de 40 para 60 °C.

Com relação ao ponto central, podemos observar uma boa reprodutibilidade nos resultados, especialmente no caso dos fenóis totais, valores em torno de 49% foram encontrados para os três experimentos.

Ao comparar o rendimento nas três temperaturas de secagem estudadas, podemos observar um leve aumento no rendimento tanto de fenóis totais como de taninos totais quando aumenta-se a temperatura de 65 para 80 °C o que indica que o aumento da temperatura pode influenciar positivamente a extração destes princípios ativos em temperaturas acima de 60 °C.

Com relação à altura do leito, para a temperatura de 80 °C o aumento da altura/carga de alimentação diminuiu um pouco o rendimento, já para a temperatura de 50 °C o aumento da altura/carga de alimentação aumentou o rendimento dos princípios ativos. Com maior carga na temperatura de 50 °C, a secagem é ainda mais branda e conserva ainda mais os princípios ativos. Para o ponto central observa-se uma razoável reprodutibilidade.

O conteúdo de compostos fenólicos nas plantas pode variar de acordo com as condições climáticas e geográficas, além de elas poderem apresentar uma composição química variada, sendo muitas vezes pouco conhecida (BATTESTIN et al., 2004).

Resultados quantitativos obtidos por Pansera et al. (2003), dos extratos das plantas aromáticas e medicinais cultivadas no nordeste do Rio Grande do Sul variam de 26 à 59%. Monteiro et al.(2005) encontraram teores de fenóis totais e taninos em casca de três espécies, sendo estas *Myracrodruon urundeuva* (Engl.) Fr. All. (aroeira),

*Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan (angico) e *Caesalpinia pyramidalis* Tul. (catingueira) variando de 29,6 a 41,39% e 24,72 à 40,93% respectivamente. Experimentos realizados com amostras obtidas da trituração e moagem da casca de coco verde mostraram que o teor de taninos totais extraídos com água quente foi de até 72,17%. Tal quantidade é bem superior às encontradas em diversas madeiras estudadas por Trugilho et al. (1997) e por Gonçalves e Lelis (2001). O resultado obtido neste trabalho está em conformidade com a literatura, que cita que os taninos podem atingir uma faixa de 2 a 50% da massa seca da casca de espécies vegetais (Hergert, 1962). O potencial de resíduos de frutas, a partir de cascas de oito tipos de frutas comumente consumidas e produzidas na Tailândia, como fontes de poderosos antioxidantes naturais, foi relatado por Dembitsky (2011). Os resultados de extratos de cascas de frutas mostra a rica quantidade de compostos fenólicos na atividade antioxidante de eliminação de radicais livres especialmente a partir dos extratos da casca de *Romã punica granatum* L. Por fim, o aproveitamento da casca de romã como alternativa para obtenção de produtos fitoterápicos feitos a partir dos princípios ativos extraídos permitirá dar uma utilização adequada a um resíduo sólido indesejável e de quantidade crescente.

#### 5.5.1 Efeitos da secagem da casca da romã sobre a extração de fenóis totais e taninos totais

Nesta etapa do trabalho estudou-se como a temperatura e a altura do leito de jorro podem influir, no rendimento na extração dos fenóis e taninos da casca da romã. Estas respostas são importantes parâmetros para obtenção de uma metodologia de confiança para a secagem sem degradação destes princípios ativos e quem sabe uma futura produção de medicamentos fitoterápicos.

Foi realizada uma análise estatística com um limite de confiança de 95% para observar o efeito da temperatura e altura do leito de jorro na secagem tendo como resposta o rendimento de fenóis e taninos totais em porcentagem.

A partir dos resultados experimentais obtidos foi possível construir o Diagrama de Pareto conforme Figura 39, onde verifica-se que as variáveis independentes: temperatura de secagem e altura do leito de jorro foram estatisticamente significativas sobre o rendimento de fenóis totais no extrato seco, ao nível de 95% de confiança. O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) neste caso foi de 0,98 e a qualidade do ajuste de 0,97.

Observa-se que tanto a temperatura linear quanto a quadrática apresentam efeito negativo, ou seja um aumento na temperatura causa uma redução no rendimento de fenóis totais. Para a variável independente altura do leito de jorro, observamos um efeito positivo, ou seja, uma maior carga no leito durante a secagem, aumenta o rendimento dos fenóis totais no extrato seco.

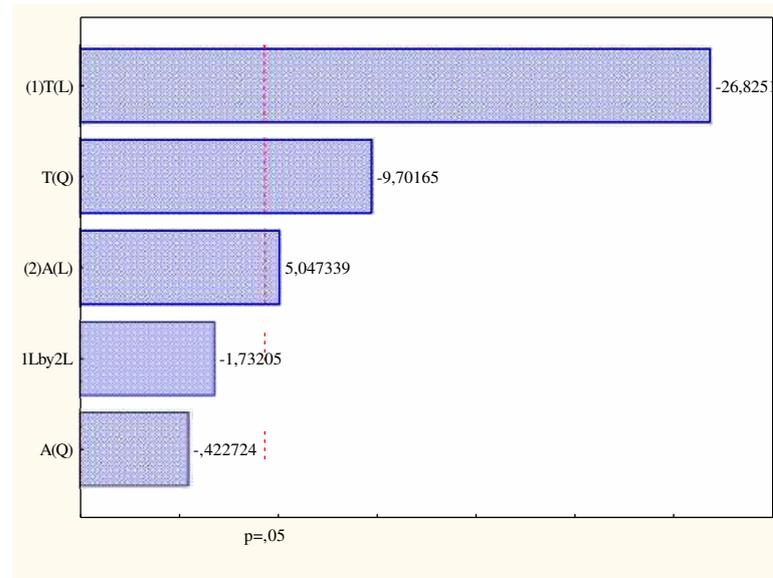


Figura 39– Diagrama de Pareto dos efeitos das variáveis independentes sobre a variável resposta Rendimento de Fenóis Totais no extrato seco.

No diagrama de Pareto da Figura 40, para a resposta rendimento de taninos totais no extrato seco, apenas a temperatura foi estatisticamente significativa, sendo o efeito negativo, ou seja, a medida que aumenta a temperatura, o rendimento de taninos totais no extrato seco diminui. O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) neste caso foi de 0,91 e a qualidade do ajuste de 0,87.

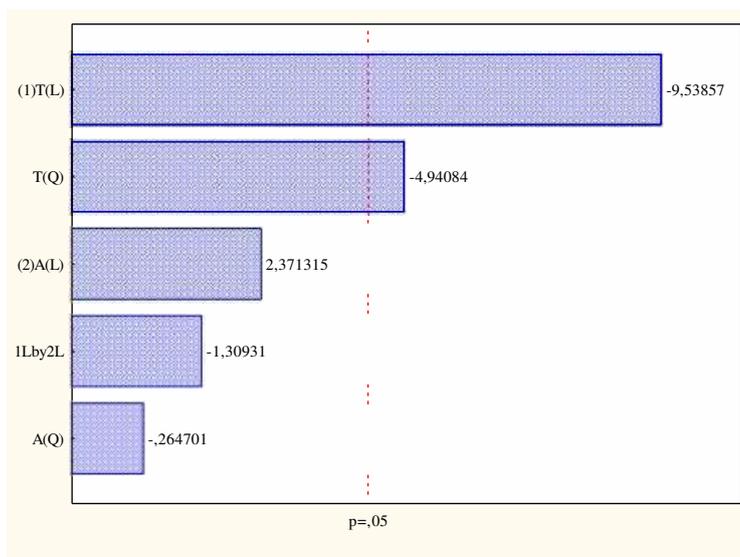


Figura 40 – Diagrama de Pareto dos efeitos das variáveis independentes sobre a variável resposta Rendimento de Taninos Totais no extrato seco.

#### 5.5.1.1 Análise de Variância

Os efeitos das variáveis independentes nas respostas rendimento de fenóis totais e rendimento de taninos totais fenólicos estão apresentados na Tabela 09, com intervalo de confiança de 95%. Os efeitos são considerados estatisticamente significativos quando seus valores de  $F_{cal}/F_{tab}$  forem maiores que 2,0, conforme Rodrigues; Iemma (2005),

O rendimento de Fenóis Totais no extrato seco apresentou regressão em torno da média de 98,64%. O valor de F obtido pelo modelo foi 132,92 e o valor do F tabelado foi 4,35 a um nível de confiança de 95%. De acordo com Rodrigues; Iemma (2005), o modelo é preditivo e estatisticamente significativo quando o valor de F calculado for superior a duas vezes o valor de F tabelado, conforme observou-se nesse processo, em que o valor de  $F_{calc}/F_{tab}$  para regressão foi 30,51 para a resposta rendimento de fenóis totais no extrato seco, sendo este altamente significativo e preditivo. Já para a variável resposta rendimento de Taninos Totais no extrato seco o valor de  $F_{calc}/F_{tab}$  para regressão foi de 5,64 sendo este também significativo e preditivo para um limite de confiança de 95%. Pode-se concluir que os modelos ajustam-se bem aos dados experimentais.

Tabela 09 - Análise de variância para as variáveis resposta rendimento de Fenóis e Taninos Totais no Extrato Seco

Características	R <sub>2</sub>	Qualidade do ajuste	F <sub>cal</sub>	F <sub>tab</sub>	F <sub>cal</sub> /F <sub>tab</sub>
Fenóis Totais	98,64	0,97	132,72	4,35	30,51
Taninos Totais	91,32	0,87	24,53	4,35	5,64

R<sub>2</sub>= regressão; F<sub>cal</sub>= F calculado; F<sub>tab</sub>= F tabelado

Como a variável resposta rendimento de Fenóis Totais no extrato seco apresentou efeito estatisticamente significativo para variável independente temperatura e altura do leito de jorro, apresentou-se um modelo quadrático em base estatística, conforme mostrado na Equação 5.1, já que o teste F da regressão e a qualidade de ajuste foi estatisticamente significativo e altamente preditivo, respectivamente.

$$\text{Fenóis totais} = 73,93 - 10,52*T - 4,54*T_2 + 1,98A \quad (5.1)$$

Já para a variável resposta rendimento de Taninos Totais no extrato seco apenas a temperatura apresentou efeito estatisticamente significativo e também apresentou-se um modelo quadrático em base estatística conforme mostra a equação 5.2, já que o teste F da regressão e a qualidade de ajuste foi estatisticamente significativo e preditivo.

$$\text{Taninos totais} = 52,84 - 10,99*T - 6,79*T_2 \quad (5.2)$$

Os modelos gerados são estatisticamente significativos e preditivos para o rendimento de Fenóis e Taninos Totais no extrato seco. As superfícies de resposta estão apresentadas nas Figuras 41 e 42, indicando um comportamento esperado para um modelo quadrático.

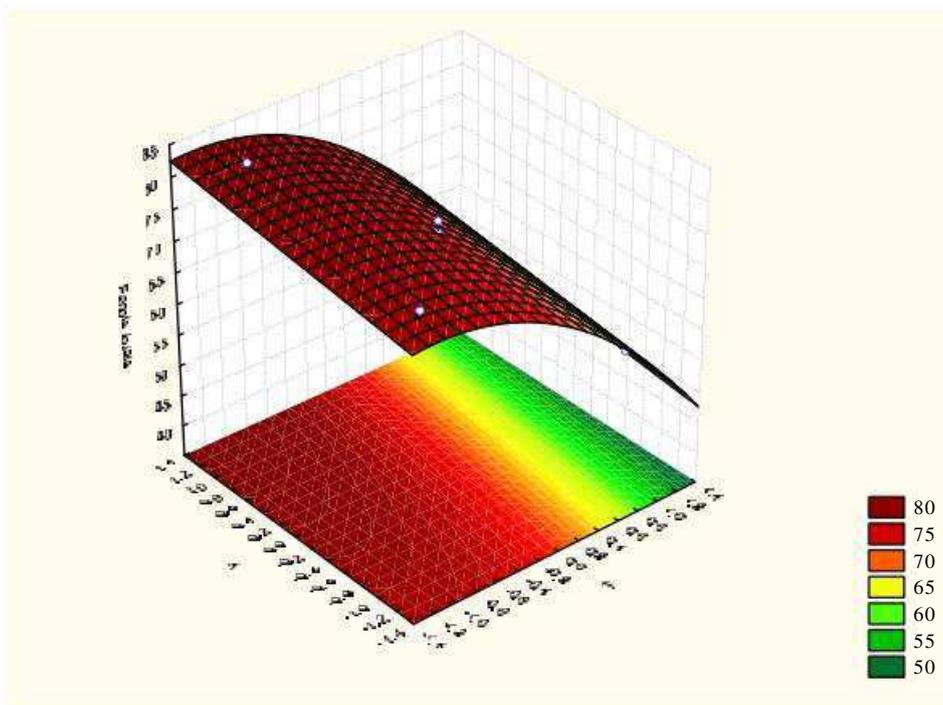


Figura 41 – Superfície de resposta do rendimento de Fenóis Totais no extrato seco em função da Temperatura do ar de secagem e Altura do leito de jorro.

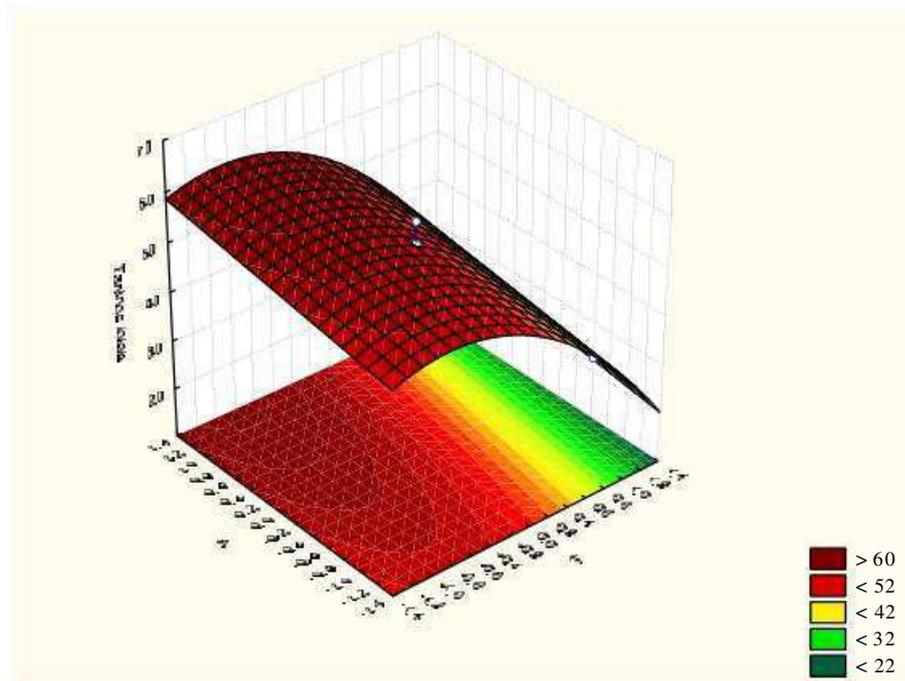


Figura 42 – Superfície de resposta do rendimento de Taninos Totais no extrato seco em função da Temperatura do ar de secagem e Altura do leito de jorro.

Observa-se nas figuras 41 e 42, para as variáveis resposta, Rendimento de Fenóis e Taninos Totais respectivamente, o mesmo comportamento: ao diminuir a temperatura de secagem e aumentar a altura do leito de jorro (aumento da carga), um maior rendimento de Fenóis e Taninos totais foi conseguido, estando estes entre 80 e 60% respectivamente. A extração com maior eficiência foi obtida na temperatura de 50 °C, isto pode ser explicado pelo fato de que em temperaturas superiores a esta os fenóis totais são degradados, os resultados corroboram com o que foi discutido anteriormente. Com relação à altura do leito de jorro, o efeito sobre a resposta rendimento de fenóis totais é positiva, ou seja, com aumento da altura do jorro/carga, há um aumento significativo no rendimento dos fénois totais. Este resultado pode ser explicado pelo fato de que com maior carga dentro do leito e tempo e velocidade do ar fixos para a secagem, esta acontece de forma mais branda do que com menor carga, preservando assim os compostos fenólicos presentes na casca da romã.

De acordo com os resultados obtidos foi possível encontrar uma condição ótima para a secagem, sendo esta feita à 50°C e leito com carga de 20 cm de altura foi possível extrair a maior quantidade de Fenóis e Taninos Totais.

---

# Capítulo VI

---

## CAPÍTULO VI

## 6 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos acerca do processo de secagem em leito de jorro e extração de fenóis e taninos totais da casca da romã triturada permitem concluir o seguinte:

As curvas construídas apresentam configuração típica de leito de jorro;

A temperatura possui grande influência na cinética de secagem para as cascas da romã;

É possível operar de modo estável mesmo com a casca in natura contendo elevado teor de umidade e ângulo de repouso maior que o desejado;

Não houve muitos problemas com aglomerados das partículas e houve pouca aderência das mesmas à parede do leito de jorro;

Como esperado, a perda de massa é mais rápida na secagem de maior temperatura;

Grande eficiência do secador no que se refere a eliminação da maior parte da umidade presente na casca triturada em tempos de processamento muito curtos;

As curvas de razão de umidade versus tempo mostrou que os dados preditos pelos modelos reproduzem bem os valores experimentais;

Em relação ao método de extração, observou-se que o mesmo foi efetivo para a extração de fenóis e taninos totais.

Os maiores rendimentos de fenóis e taninos totais foram obtidos na extração das cascas secas na condição de temperatura mais branda.

De acordo com os resultados e análises estatísticas a condição ótima para a extração de fenóis totais e taninos totais com relação à secagem no leito de jorro é na temperatura de 50°C e altura do leito de 20 cm

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AFAQ, F. et al. Novel agents and targets for skin cancer chemoprevention: studies with pomegranate fruit extract. *Journal of Investigative Dermatology*, v.121, n.1, p.140, 2003. (Abstract)
- AGRA, M.F. Planta medicinal popular dos cariris velhos. Editora União, João Pessoa, p.125,1996.
- AJAIKUMAR, K.B.; ASHEEF, M.; BABU, B.H.; PADIKKALA, J. The inhibition of gastric mucosal injury by *Punica granatum*, L. (pomegranate) methanolic extract. *J. Ethnopharmacol.*, Orlando, v. 96, n.1-2, p. 171-176, 2005.
- ALCIVAN NETO, A. E. Secagem de Grãos de Girassol em Leito Fixo e em Leito de Jorro. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2013.
- AL-KAHTANI, A. H. (1992). Intercultivar difference in quality and post harvest life of pomegranate influenced by partial drying. *J. Amer.Soc.hort. Sci.*, 117(1), 100–104.
- AL-KHALIFA, A. S., DILSHAD, A. (1998). Third Saudi symposium on food and nutrition (26-29/10). Riyadh, Saudi Arabia.
- AL-MAIMAN S. A.; AHMAD, D. Changes in physical and chemical properties during pomegrate (*Punica granatum* L.) fruit maturation. *Food Chemistry* 76 (2002) 437 – 441.
- ALMEIDA, A. R. F. Análise de secagem de pastas em leito de jorro. 2009. 165f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de São Carlos. São Carlos - SP.
- ALMEIDA, M. M. Desidratação de Polpa de Umbu. Relatório do Estágio Integrado. Universidade federal da Paraíba, Campina Grande, 1991.
- ALMEIDA, M.M. Secagem de Fatias e Pedacos Cúbicos de Goiaba (*Pisidium guajava* L). Tese. UFCG-CCT.171p. 2004.
- ALSINA, O. L. S., SILVA, O.S. e BRASILEIRO, M.N., *Drying Kinetics of Indian Cherry*. Proceedings of the Inter-American Drying Conference (IADC), Itu-SP, ppp. 434-40, 1997.
- ALSINA, O. L. S., VASCONCELOS, L. G. S., CAVALCANTE, J. A., VILLAR, G. C., Brasileiro, I.M.N. Simulation of a tray convective dryer for banana slices In: IDS'2002,

13th International Drying Symposium, 2002, Beijing, China. Drying'2002 Proceedings of the 13th International Drying Symposium. v.A. p.371 - 379, 2002.

ALSINA, O. L. S.; VIEIRA, L.G. Determinação da condutividade térmica do urucum In: 6th Latin American Congress of Heat and Mass Transfer - ENCIT 96 e LATCYM 96, VOL.III pp.1741-1746, Florianopolis , 1997.

ANESINI, C.; PEREZ, C. Screening of plants used in Argentine folk medicine for antimicrobial activity. *Journal of Ethnopharmacology*, v.39, p.119-28, 1993.

ARAGÃO, C. F.S. Desenvolvimento de metodologias analíticas para padronização de extratos de *Cissampelos Sympodialis* EICHL (Milona). Tese (Doutorado). João Pessoa: Laboratório de Tecnologia Farmacêutica, 2002. 210p., Universidade Federal da Paraíba.

ARAGÃO, F. A. ; ALSINA, O. L.S.; SILVA, L.C. Estudo da cinética e evolução térmica durante a secagem de fatias de caju. Congresso Nacional de Frutas Tropicais, 2005

ARAÚJO, M.E.R. Predição da Cinética de Secagem de fruto da goiabeira, Dissertação, UFPB, ,2001.

ARTIK, N.; MURAKAMI, H.; MORI, T. Determination of phenolic compounds in pomegranate juice by using HPLC. *Fruit Process.*, Oberhonnefeld- Gierend, v. 12, p. 492- 499, 1998.

AVIRAM, M. et al. Pomegranate juice consumption for 3 years by patients with carotid artery stenosis reduces common carotid intima-media thickness, blood pressure and LDL oxidation. *Clinical Nutrition*, v.23, n.3, p.423-33, 2004.

AVIRAM, M. et al. Pomegranate juice consumption reduces oxidative stress, atherogenic modifications to LDL, and platelet aggregation: studies in humans and in atherosclerotic apolipoprotein E-deficient mice. *The American Journal of Clinical Nutrition*, v.71, n.5, p.1062- 76, 2000.

AVIRAN, M.; DORNFELD, L. Pomegranate juice consumption inhibits serum angiotensin converting enzyme activity and reduces systolic blood pressure. *Atherosclerosis*, Oxford, v. 158, n.1, p. 195- 198, 2001.

AVIRAN, M.; DORNFELD, L.; ROSENBLAT, M.; VOLKOVA, N.; KAPLAN, M.; COLEMAN, R.; HAYEK, T.; PRESSER, D.; FUHRMAN, B. Pomegranate juice consumption reduces oxidative stress, atherogenic modifications to LDL, and platelet aggregation: studies in humans and in atherosclerotic apolipoprotein E- deficient mice. *Am. J. Clin. Nutr.*, Rockville Pike, v. 71, n.5, p. 1062- 1076, 2000.

- AVIRAN, M.; DORNFELD, L.; ROSENBLAT, M.; VOLKOVA, N.; KAPLAN, M.; COLEMAN, R.; HAYEK, T.; PRESSER, D.; FUHRMAN, B. Pomegranate juice consumption reduces oxidative stress, atherogenic modifications to LDL, and platelet aggregation: studies in humans and in atherosclerotic apolipoprotein E- deficient mice. *Am. J. Clin. Nutr.*, Rockville Pike, v. 71, n.5, p. 1062- 1076, 2000.
- BANKOVA, V.S., POPOV, S.S., MAREKOV, N.L. Isopentenyl cinnamates from poplar buds and propolis. *Phytochem*, v.28, n.3, p.871-873, 1989.
- BARBOSA-FILHO, J.M.; AGRA, M.F.; THOMAS,G. Botanical, chemical and pharmacological investigation on *Cissampelos* species from Paraíba (Brazil). *Journal of the Association for the Advancement of Science*. V.49, nº 5/6. p. 386 – 394. 1997.
- BARROS NETO, B., SCARMINIO, I. S. & BRUNS, R. E. Planejamento e Otimização de Experimentos. Editora da Unicamp. Campinas –SP, 1996.
- BARROSO,M.A . s., Henrique,h.m. 7 sartori,d.j.m., Secagem de Grãos em Camada Delgada, Um Estudo Sobre o Modelo Fickiniano. Anais do XXI ENEMP, Ouro Preto(MG),1993.
- BENELLI, L.; SOUZA, C. R. F.; OLIVEIRA, W. P. Spouted bed performance on drying of an aromatic plant extract. *Powder Technology*, v.239, p.59–71, 2013.
- BEZERRA, C. V.; AMANTE, E.R.; OLIVEIRA, D. C. de.; RODRIGUES, A. M. C., SILVA, L. H. M. da. Green banana (*Musa cavendishii*) flour obtained in spouted bed – Effect of drying on physico-chemical, functional and morphological characteristics of the starch . *Industrial Crops and Products*, v.41, p.241–249, 2013.
- BORBA,M.O .P. ; BARBOSA\_FILHO, J.M. & PADOVANI, I. O . Ultra structural of the active fractions of *Mentha crisper* against the *Schistosoma mansoni* “in vivo” In: *Internacional Symposium on Schistosomiasis – National Meeting on Schistosomiasis*. Rio de Janeiro, 1991.
- BORBA,M.O .P. ; PADOVAN, P. A ; PADOVAN, I P. ; SANTANA, J. V.; PADILHA, R. J.; JUNGSMANN, P. & SILVA, J.F. Effects of *Mentha crisper* crude extract on *Schistosoma mansoni* cercaria. Na. Ultra-estrutural study, *Mem. Inst. Oswaldo Cruz*, 84:235, 1990b.
- BORGES, K. C. Estudo das características físico-químicas e funcionalidade de bagaços de frutas tropicais desidratados em leito de jorro. 2011. 157f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Química, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

BRANDÃO, A.A.H.; RODE, S.M. Aplicações terapêuticas da *Punica granatum* L. (romã). Rev. Bras. Pl. Med., Botucatu, v.10, n.3, p.104-111, 2008.

BRANDÃO, A.A.H.; RODE, S.M. Aplicações terapêuticas da *Punica granatum* L. (romã). Rev. Bras. Pl. Med., Botucatu, v.10, n.3, p.104-111, 2008.

BRAS-FILHO, R. Química de Produtos Naturais: importância, interdisciplinaridade, dificuldades e perspectivas. A peregrinação de um pacatubano. Química Nova, v.17.n.5,p.405-445,1994.

BRASIL, Métodos físico-químicos para análise de alimentos. 4.ed. Brasília: Ministério da Saúde, 2005. 1015p

BRASIL, Ministério da Saúde, Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), Resolução – RDC Nº 17 de 24/02/2000. Dispõe sobre o registro de medicamentos fitoterápicos. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF (25/02/2000) , 2000.

BRASIL, Ministério da Saúde. Resolução CIPLAN nº 8 de 8.3.1988. Implanta a prática da fitoterapia nos serviços públicos de saúde. Diário Oficial da União, 11.3.1988.

BRASIL, Ministério da Saúde. Secretaria Nacional de Vigilância Sanitária. Portaria DIMED nº 19 de 7.4.1986. Torna obrigatório o registro na DINAL das especiarias e ervas destinadas a infusões ou chás que não contenham indicações no rótulo. Diário Oficial da União, 9.4. 1986.

BRASIL, Ministério da Saúde. Secretaria Nacional de Vigilância Sanitária. Portaria SVS nº 6 de 31.1.1995. Institui e normatiza o registro de produtos fototerápicos junto ao sistema de vigilância sanitária. Diário Oficial da União, 6.2.1995.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento/MAPA. Instrução Normativa nº 1, de 07 de Janeiro de 2000. Regulamento Técnico Geral para fixação dos padrões de identidade e qualidade para polpa de fruta. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 10 de janeiro de 2000, seção 1, página 54.

CARALESSO, V. O. et al , Avaliação de Modelos de Secagem em Camada Fina de Sementes de maracujá Amarelo, Revista Brasileira de Sementes, vol. 29, nº 2, p.28-37, 2007

CARRARA JR. , E. e MEIRELLES, H. A indústria e o desenvolvimento do Brasil. São Paulo: Metalivro, 1996, 2v.

CASADEBAIG, J.L.; JACOB, M.; CASSANAS, G.; GAUDY, D.; BAYLAC, G.; PUECH, A. Physicochemical and Pharmacological Properties of Spray-dried Powder from *Fraxinus excelsior* Leaf Extract. *Journal of Ethnopharmacology*. V. 26, p.211-216, 1989.

CATÃO, R. M. R. (org.). 2006. Atividade antimicrobiana “in vitro” do extrato etanólico de *Punica granatum* linn. (romã) sobre isolados dos ambulatoriais de *Staphylococcus aureus*. *Revista Brasileira de Análises Clínicas*. V. 38, n.2, p111-114

CECHINEL FILHO, V., YUNES, R.A. Estratégias para a obtenção de compostos farmacologicamente ativos a partir de plantas medicinais: conceitos sobre modificação estrutural para otimização da atividade. *Química nova*, V.21, p99-105, 1998;

CERDA, B. et al. Repeated oral administration of high doses of the pomegranate ellagitannin punicalagin to rats for 37 days is not toxic. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, V.51, n.11, p.3493-501, 2003.

CHADWISCK, D.J. MARSH, J. Bioactive compounds from plants, John Wiley, New York, 1990.

COMITRE A. A., VAZ L. B., SILVA L. A., LARROSA A. P. Q. e PINTO. L. A. de A. Secagem a Vácuo de *Spirulina* SP. LEB 18: Análise das Características dos Compostos Bioativos do Produto desidratado. XI Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica, Unicamp, Campinas – SP, 2015.

COPASSO, R.; IZZO, A. A; PINTO, L.; BIFULCO, T.; VITOBELLO, C.; MASCOLO, N. Phytoterapy and quality of herbal medicines. *Fitoterapia*. 71. s58-s65.2000.

CORDEIRO, D.S. e OLIVEIRA, W.P. Technical aspects of the production of dried extract of *Maytenus ilicifolia* leaves by jet spouted bed drying. *International Journal of Pharmaceutics*, V.299, p.115-126, 2005.

CORDEIRO, D.S. Produção de Extrato Seco de *Maytenus ilicifolia* Martius Ex Reiss pelo Processo Leito de Jorro. Dissertação. PPG-FCFRP/USP, Ribeirão Preto, 2000.

CÔRREA, N. A. ; CÔRREA, R.G. e FREIRE, J.T. Adaptive control of paste drying in spouted bed using the GPC algorithm. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, São Paulo, 2001.

CORREA, M. P. Dicionário Das Plantas Úteis e Exóticas Cultivadas. Rio de Janeiro: Ministério da agricultura , V.5, p.320, 1929.

COSTA A. M., ROQUE-SPECHT V. F., CELESTINO S. C., CABRAL Y. O. E., CABRAL D. O. E., DINIZ J. D. A. S., Estabilidade de Compostos Fenólicos e

Flavonóides nas Farinhas de Jatobá e Pequi Processadas em Diferentes Temperaturas. XXII Congresso Brasileiro de Fruticultura, Bento Gonçalves – RS, 2012.

COSTA, A. G. V.; GARCIA-DIAZ, D. F.; JIMENEZ, P.; SILVA, P. I. Bioactive compounds and health benefits of exotic tropical red–black berries. *Journal of Functional Foods*. V.5, n. 2, p.539-549, 2013.

DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. *Química de Alimentos de Fennema*. 4.ed. PortoAlegre: Artmed, 2010. 900p.

DAS, A.K. et al. Studies on antidiarrhoeal activity of *Punica granatum* seed extract in rats. *Journal of Ethnopharmacology*, v.68, p.205-8, 1999.

De PAULA, I. C. , *Desenvolvimento Tecnológico de Forma Farmacêutica Plástica Contendo Extrato Seco Nebulizado de *Achyrocline satureioides* (LAM.) DC. Compositae*, Dissertação.UFRGS, Porto Alegre, 1996.

DE, M.; KRISHNA, A.; BANERJEE, A.B. Antimicrobial screening of some Indian spices. *Phytotherapy Research*, v.13, n.7, p.616-8, 1999.

DEVILLA, I. A. et al, *Cinética de Secagem de Cascas de Romã*, I Congresso de Pesquisa e Pós-Graduação do Câmpus Rio Verde do Instituto Federal Goiano, 2012

ELDIN, S.; DUNFORD, A A *Fitoterapia na atenção primária a saúde*. Editora Malone Ltda.São Paulo: 162p,2001.

ELIZABETSKY, E. New directions in ethnopharmacology. *J. Ethnobiol.* 6: 121,1986.

EL-NEMR, S. E.; ISMAIL, I. A.; RAGAB, M. (1992). The chemical composition of juice and seeds of pomegranate fruits. *Fluessiges Obst*. 59(11). Fruit processing, 2(11), 162–164. In: AL-MAIMAN S. A.; AHMAD, D. Changes in physical and chemical properties during pomegranate (*Punica granatum* L.) fruit maturation. *Food Chemistry* 76 (2002) 437 – 441. FERREIRA, A.B.H. *Novo dicionário Aurélio da língua portuguesa*. 3.ed. Curitiba: Positivo, 2004. 2120p. IAL – Instituto Adolfo Lutz. *Métodos físico-químicos para análise de alimentos*. 4 ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2005. GOMES, P. 2007. *Fruticultura Brasileira*. Nobel, 446p.

FARMACOPÉIA BRASILEIRA, 3 ed. São Paulo:andrei,1988

FARNSWORTH,N.R. Relative safety of herbal medicines. *Herbalgram*, 29: 36 A-36H, 1993.

FARNSWORTH,N.R.& MORRIS, R.W. Higher plants – the sleeping giant of drug development. *Amer. J. Pharmacy.*, 147 : 46-52, 1976.

- FREIRE, F.B., BARROZO, M.A.S., SARTORI, D.J.M, FREIRE, J.T.. Study of drying kinetics in thin layer fixed and moving bed, *Drying'2004*, C:1684-1691, 2004.
- FRENKEL, J.; REIS, J.A.; ARAÚJO JÚNIOR, J.T.; NAIDIN, L.C. ; LOBO,R.S. ; FONSECA, M.S. Tecnologia e competição na indústria farmacêutica brasileira. Rio de Janeiro: Finep.1978.
- FURUYA, K. Biochemical studies on calcareous algae. II. Organic acids of some calcareous red algae. *The Botanical Magazine, Tokyo*, 78:274-279, 1965;
- FUHRMAN, B.; AVIRAM, M. Flavonoids protect from oxidation and attenuate atherosclerosis. *Current Opinion in Lipidology*, v.12, n.1, p.41-8, 2001.
- FUHRMAN, B.; AVIRAM, M. Preservation of paraoxonase activity by wine flavonoids: possible role in protection of LDL from lipid peroxidation. *Annals of the New York Academy of Sciences*, v.957, p.321-4, 2002.
- GABAS, A . L. Secagem de uva Itália em leito fixo. Dissertação. FEA/Unicamp, 1998.
- GAIG, P. et al. Allergy to pomegranate (*Punica granatum*). *European Journal of Allergy & Clinical Immunology*, v.54, n.3, p.287-8, 1999.
- GOMES, P. M. de A.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. de; QUEIROZ, A. J. de M. Caracterização e isothermas de adsorção de umidade da polpa de acerola em pó. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, Campina Grande*, v.4, n.2, p.157-165, 2002.
- HEIDELBAUG, N.D.; KAREL, M. Stability of low and intermediate moisture foods. In: GOLDBLITH, S. A ; REY, L.; ROTHMAYR, W.W. *Freeze Drying and Advance Food Technology*. New York: Academic Press, p.643-674, 1975.
- HOEHNE, F.C. Plantas e substâncias tóxicas e medicinais. Departamento de Botânica do Estado de São Paulo, 30p., 1939.
- HORA, J.J. et al. Chemopreventive effects of pomegranate seed oil on skin tumor development in CD1 mice. *Journal of Medicinal Food*, v.6, n.3, p.157-61, 2003.
- HUKKERI, V.I. et al. In vitro antihelmintic activity of aqueous extract of fruit rind of *Punica granatum*. *Fitoterapia*, v.64, n.1, p.69-70, 1993.
- IHRIG, M.; BLUME, H. Zur Beurteilung von Phytopharmaka aus pharmazeutischer Sicht. *Pharm. Ztg*, 137, 36: 2715- 2725. 1992.
- J. C. IGBEKA Moisture isotherms of a processed meat product—Bologna.. First published: February 1982.
- JACOB, M. SOERTANO, S. ; PUECH, A ; DURU, C; CAVAILLES, M.L. Contribution à l'étude de la stabilité de divers extraits végétaux sécs. *Pharmaceutica Acta Helvetiae*, v. 59, p. 335-338, 1984.

- JAFRI, M.A. et al. Effect of *Punica granatum* Linn. (flowers) on blood glucose level in normal and alloxan – induced diabetic rats. *Journal of Ethnopharmacology*, v.70, p.309-14, 2000.
- JARDINI, F. A.; MANCINI FILHO, J., Composição centesimal e perfil dos ácidos graxos de romã (*Punica granatum*, L. ) cultivada no Brasil, *Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas*, vol. 43, n. 1, jan./mar., 2007.
- JARVIK, G.P. et al. Vitamin C and E intake is associated with increased paraoxonase activity. *Journal of the American Heart Association*, v.22, n.8, p.1329-33, 2002.
- JASSIM, S.A.A.; NAJI, M.A. Novel antiviral agents: a medicinal plant perspective. *Journal of Applied Microbiology*, v.95, n.3, p.412-27, 2003.
- JIMÉNEZ MISAS, C.A.; ROJAS HERNANDEZ, N.M.; LOPEZ ABRAHAM, A.M. Biological evaluation of Cuban plants. IV. *Revista Cubana de Medicina Tropical*, v.31, n.1, p.29-35, 1979.
- KAHYAOGLU L. N. et al. Physical properties of parboiled wheat and bulgur produced using spouted bed and microwave assisted spouted bed drying. *Journal of Food Engineering* Volume 98, Issue 2, May 2010, Pages 159–169
- KECHAOU, N. e MAALEJ, M. Model for determination of moisture diffusivity of date from experimental drying curves. Helsinki, Finland, 1999.
- KEEY, R. B. (1991), *Drying of loose and particulate materials*. Hemisphere Publishing.
- KELAWARA, N.S.; ANANTHANARAYAN, L. Antioxidant activity of selected foodstuffs. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, v.55, n.6, p.511-6, 2004.
- KIM, N.D. et al. E. Chemopreventive and adjuvant therapeutic potential of pomegranate (*Punica granatum*)
- KIM, N.D. et al. E. Chemopreventive and adjuvant therapeutic potential of pomegranate (*Punica granatum*). 2002
- KOES RE, QUATTROCCHIO F, MOL JNM (1994) The flavonoid biosynthetic pathway in plants: function and evolution. *Bioessays* 16:123–132.
- KOHNO, H. et al. Pomegranate seed oil rich in conjugated linoleic acid suppresses chemically induced colon carcinogenesis in rats. *Cancer Science*, v.95, n.6, p.481-6, 2004.
- KOROLKOVAS, A ; BURCKALTER, J.H. *Química farmacêutica*, Rio de Janeiro: Ed. Guanabara Koogan S.<sup>a</sup>, p. 4, 1998.

- KUMAR,K.;HUA,J.;WU,M. A kinetic study on temperature effects in kinetic model.2005.
- L. P. MUSSI<sup>1</sup>, A. O. GUIMARÃES, H. VARGAS, K. S. FERREIRA e N. R. PEREIRA. Avaliação do Efeito da Secagem em Leito de Jorro sobre o Teor de Antocianinas Totais em resíduo de Jambolão (*Syzygium cumini* L.) XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química, Florianópolis – SC, 2014
- LANGLEY, P. Why a pomegranate? *British of Medicine Journal*, v.321, n.4, p.1153-4, 2000.
- LEWIS, W. K. “The rate of drying of solids materials” In: *The Symposium on Drying. The journal of i.& e. Ch. 13 (5)*, pp.427-432,1921.
- LI, Y. et al. E. Antiviral activities of medicinal herbs traditionally used in southern mainland China. *Phytotherapy Research*, v.18, n.9, p.718-22, 2004.
- LIMA, L. M. O. Estudo do Aproveitamento de bagaço de frutas tropicais, visando a extração de fibras. Dissertação (Mestrado). Natal: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade federal do Rio Grande do Norte, 108p. 2001;
- LIMA, L. M. O. Estudo do Aproveitamento de bagaço de frutas tropicais, visando a extração de fibras. Dissertação (Mestrado). Natal: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade federal do Rio Grande do Norte, 108p. 2001.
- LIST, P. H.; SCHIMIDT, P. C. *Phytopharmaceutical Technology*. Boca Raton: CRC, 1989;
- LOMAURO, C.J.; BAKSHI, A . S.; LABUZA, T.P. Evaluation of food moisture sorption isotherm equations. Par I: Fruit, vegetable and meat products. *LebensmittelWissenscharft und Techologie*, v. 18, p.112-22, 1985.
- LORENZI, H.; SOUZA, H.M. *Plantas ornamentais no Brasil – arbustivas, herbáceas e trepadeiras*. 3.ed. Nova Odessa: Plantarum, 2001. 1088p.
- LOW, T.; RODD, T.; ROSEMARY, B.; CARTWRIGHT, L.; ALLARDICE, P.; BONE, K.; HUTCHISON, F.; MACKAY, D.; ORAMN. *Segredos e virtudes das plantas medicinais*. 1 ed., Itália. 241pp, 1999. MABRY, T.J.;MARKHAM, K.R., e THOMAS, M. B. *The systematic indetification of flavonoids*, CapítuloIV, Springer- Verlag, Berlin, Heidelberg – New York, 1970;
- LUNA e SOUZA, *Adaptação de Metodologia Descrita por CECHINEL FILHO E YUNES 1998, XXI Simpósio de Plantas Medicinais do Brasil*, João Pessoa, 2010.

- MACHADO, T.B. et al. In vitro activity of Brazilian medicinal plants, naturally occurring naphthoquinones and their analogues, against methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*. *International Journal of Antimicrobial Agents*, v.21, n.3, p.279-84, 2003.
- MAHAJAN D. C., SATYAPAL U. S., TATKE P. A., NAHARWAR V. A. Evaluation of *Punica Granatum* Fruit Peels Extracts For Its Free Radical Scavenging and Anti-inflammatory Activity. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 2015.
- MANCINI, M.C. Transferência de Massa na Secagem de Grãos em Camada Delgada, XXII –ENEMP, Florianópolis(SC), 1996.
- MARTIN, J. N. Obtenção do Extrato Seco de Cumaru pelo Processo de Secagem em Leito de Jorro. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Campina Grande, 2013
- MARTINS, E. Plantas medicinais. Viçosa: UFV, 1995. p. 162-163.
- MARTINS, E. Plantas medicinais. Viçosa: UFV, 1995. p. 162-163. Ministry of National Health and Welfare. Report of the Expert Advisory Dietary Fibre to the Health Protection Branch Health and Welfare. Ottawa; 1985. In: MATTOS, Lúcia Leal de e Ignez, Salas Martins. Consumo de fibras alimentares em população adulta. *Rev. Saúde Pública*, São Paulo, 34 (1): 50-55, 2000.
- MARTINS, E.R.; CASTRO, D.M. CASTELLANI, D.C. ;DIAS, J.E. Plantas medicinais. Editora UFV. Universidade de Viçosa, MG, Brasil, p.220, 2000;
- MARTINS, G. Z; OLIVEIRA, W. P. de. Utilização do leito de jorro para a aplicação de revestimento entérico em cápsulas gelatinosas duras. *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences*, v.39, n.3, 2003
- MATHUR, K. B. Spouted beds. In: DAVIDSON, J. F.; HARRISON, D. *Fluidization*. 1ª ed. London: Academic Press, cap.17, p.711-742, 1971.
- MATHUR. K, B.: EPSTEIN. N. Spouted beds. New York, Academia Press, 1974, 304p.
- MATOS, F. A Introdução a Fitoquímica Experimental. Fortaleza: Ed. UFC, p. 128, 1994.
- MATOS, F.J. A. Farmácias Vivas. 2ª ed. Fortaleza: Edições UFC, 1994.
- MATOS, F.J. A. Farmácias Vivas. Fortaleza: Edições UFC, 48-49, 1991.
- MATOS, F.J.A. Plantas medicinais. Guia de seleção para emprego de plantas medicinais do Nordeste do Brasil. Vol. 1, IOCE, Fortaleza, 1989.

MATOS, F.J.A.; ANJOS, M.I.L. Farmácias Vivas. Sistema de uso de plantas medicinais cientificamente comprovadas para pequenas comunidades, Fortaleza, 1989.

MEDEIROS, M. F. D. ; MATA, A. L. M. L. ; JERÔNIMO, C. E. M. ; ALSINA, O. L. S. ; MEDEIROS, U. K. L.; ROCHA, S. C. S.; FURTUNATO, A. A. Escoabilidade de Leitos de partículas inertes com polpas de frutas tropicais. Efeitos na Secagem em Leito de Jorro. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.5, n.3, p.475-480, 2001.

MEDEIROS, M. F. D. et al, Escoabilidade de leitos de partículas inertes com polpa de frutas tropicais. Efeitos na secagem em leito de jorro, Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, vol.5 no.3 Campina Grande , 2001

MEDEIROS, M. F. D.; GURGEL, A. R.; PEDRINI, M. R. S.; MAGALHÃES, M. M. A.; LEITE, P. R. G.; NETO, A. J. S. Enriched flour production process using spouted bed of inert particles. In: ENPROMER, 2005, Rio de Janeiro. Anais. Rio de Janeiro, 2005, p.214.

MEDEIROS, M.F. D. Influência da Composição Química dos Materiais no Desempenho do Processo de Secagem de Polpas de Frutas em Leito de Jorro. Tese. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2001.

MEDEIROS, U. K. L.; NASCIMENTO, R. J. A.; MARCIANO, L. A.; PASSOS, M. L. A.; MEDEIROS, M. F. D. Análise comparativa das propriedades físicas e físico-químicas do leite de cabra reconstituído. In: 47º CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA. Natal (RN). 2007.

MEHTA, R.; LANSKY, E.P. Breast cancer chemopreventive properties of pomegranate (*Punica granatum*) fruit extracts in a mouse mammary organ culture. European Journal of Cancer Prevention, v.13, n.4, p.345-8, 2004.

MENDONÇA, V.L.M. Estudo Farmacológico e Toxicológico de *Alpinia speciosa* Schum. Dissertação (Mestrado em Química Orgânica), Departamento de Química Orgânica e Inorgânica, Universidade Federal do Ceará, 1989.

**MOLINARI R. F., FERRÃO B. H., TEIXEIRA M.B., CARVALHO C.A.**, influência de diferentes solventes no processo de extração de compostos ativos de *Leonurus Sibiricus* L. Anais SIMPAC, 2011

MORAES F. P., SILVA E. S.; ROCHA P. M.; FERNANDES T. R. N.; VIDAL R. H. L. CORREIA R. T. P. Impacto da Secagem Convectiva sobre os Compostos Bioativos e Atividade Antioxidante do Resíduo do Caju (*Anacardium Occidentale* L.). XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química, Florianópolis – SC, 2014

- MOREIRA, G. E. G. Obtenção e caracterização de extrato microencapsulado de resíduo agroindustrial de acerola. 2007, 72f, Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Tecnologia. Programa de PósGraduação em Engenharia Química. Natal.
- MORI-OKAMOTO, J. et al. Pomegranate extract improves a depressive state and bone properties in menopausal syndrome model ovariectomized mice. *Journal of Ethnopharmacology*, v.92, n.1, p.93-101, 2004.
- MOUHAJIR, F. et al. Multiple antiviral activities of endemic medicinal plants used by Berber peoples of Morocco. *Pharmaceutical Biology*, v.39, n.5, p.364-74, 2001.
- MOURA, T.F.; GAUDY, O.; JACOB, M.; TEROL, A. PAUVERT, T.B.; CHAVET, H. Vitamin C spray drying: study of the thermal constituent, *Dry Development and Industrial Pharmacy*, v. 22, n. 5, p. 393-400, 1996.
- MUJUMDAR, S. A. Spouted beds: Principles and recent developments, *Anais do XVII Encontro sobre Escoamento em Meios Porosos – ENEMP*. São Carlos, v. I, p. 03-13, 1989.
- MULET et al., 1989, Fickian models are the most widely, In food drying modelling and simulation accepted
- MURTHY, K.N. et al. Study on wound activity of *Punica granatum* peel. *Journal of Medicinal Food*, v.7, n.2, p.256- 9, 2004.
- MUSSI, M.C. et al. Óleo de copaíba (*Copaifera* sp.): histórico, extração, aplicações industriais e propriedades medicinais. *Revista Brasileira de plantas medicinais*, vol.11 no.4 Botucatu 2009
- NASCIMENTO, G.G.F. et al. Antibacterial activity of plant extracts and phytochemicals on antibiotic resistant bacteria. *Brazilian Journal of Microbiology*, v.31, p.247- 56, 2000.
- NAVARRO, V. et al. Antimicrobial evaluation of some plants used in Mexican traditional medicine for the treatment of infectious diseases. *Journal of Ethnopharmacology*, v.53, p.143-7, 1996.
- NAVARRO, V. et al. Antimicrobial evaluation of some plants used in Mexican traditional medicine for the treatment of infectious diseases. *Journal of Ethnopharmacology*, v.53, p.143-7, 1996. In: WERKMAN, C; GRANATO, D. C.; KERBAUY, W.D.; SAMPAIO, F.C.;

- NEURATH, A.R. et al. Punica granatum (pomegranate) juice provides an HIV-I entry inhibitor and candidate topical microbicide. *BMC Infectious Diseases*, v.4, n.41, p.1-12, 2004. In: WERKMAN, C; GRANATO, D. C.; KERBAUY, W.D.; SAMPAIO, F.C.;
- NIMRI, L.F.; MEQDAM, M.M.; ALKOFABI, A. Antibacterial activity of Jordanian medicinal plants. *Pharmaceutical Biology*, v.37, n.3, p.196-201, 1999.
- NODA, Y. et al. Antioxidant activities of pomegranate fruit extract and its anthocyanidins: delphinidin, cyanidin, and pelargonidin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v.50, n.1, p.166-71, 2002.
- NODA, Y.; KANEYUKI, T.; MORI, A.; PACKER, L. Antioxidant activities of pomegranate fruit extract and its anthocyanidins: delphinidin, cyaniding and pelargonidin. *J. Agric. Food Chem.*, Washington, v.50, n.1, p. 166-171, 2002.
- NODA, Y.; KANEYUKI, T.; MORI, A.; PACKER, L. Antioxidant activities of pomegranate fruit extract and its anthocyanidins: delphinidin, cyaniding and pelargonidin. *J. Agric. Food Chem.*, Washington, v.50, n.1, p. 166-171, 2002.
- RANGANNA, S. Manual of analysis of fruit and vegetable products. New Delhi: Tata McGraw Hill Publishing Company Limited, 1977. 634 p.
- OLIVEIRA, M.J.R.; SIMÕES, M.J.S.; SASSI, C.R.R. Fitoterapia no Sistema de Saúde Pública (SUS) no Estado de São Paulo, Brasil. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, v.8, n.2, p.39-41, 2006.
- P. S. ALMEIDA, T. P. XAVIER, M. S. BACELOS, M. A. S. BARROZO<sup>2</sup> e T. S. LIRA. Estudo Experimental da Secagem do Carpelo da Macadâmia em Leito de Jorro, XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química, Florianópolis – SC, 2014
- PACHÚ, C. O. Novas Lignanas isoladas da *Ocotea duckei* Vattimo e atividade Psicodepressora da iangambina. João Pessoa: Laboratório de Tecnologia Farmacêutica, Universidade Federal da Paraíba, 137p. Dissertação (Mestrado).1994.
- PACHÚ, C. O. Processamento de plantas medicinais para obtenção de extratos secos e líquidos. Universidade Federal de Campina Grande, Doutorado em Engenharia de Processos (TESE), 150p. 2007;
- PACHÚ, Clésia Oliveira ; Soares, O.S. ; Alsina,O.L.S. . Drying kinetics of *Mentha vilosa* Hudson leaves.. In: IADC 2005 - Proceedings of 3rd Inter-American Drying Conference., 2005. IADC 2005. p. p. VI-1;
- PAGE, P.; CURTIS, M.J.; SUTTER, M.C.; ALKER, M.J.A.; HOFFMAN, B.B. *Farmacologia Integrada*. Ed. Malone. LTDA. São Paulo, p.606, 1999.

- PARK, K. J., VOHNIKOVA, Z., BROD, F.P.R.. Evaluation of drying parameters and desorption isotherms of garden mint leaves (*Mentha crispa* L.). *Journal of Food Engineering*, 51:193-199, 2002.
- PASSOS, M.L.; MUJUNDAR, A S., *Drying Technol.*, 7, 663, 1989.
- PEREIRA, A. P. N., *Avaliação da Atividade inseticida das Folhas de Andira paniculata Benth (Fabaceae)*, 2012
- PEREIRA, J.V. et al. Atividade antimicrobiana do extrato hidroalcoólico da *Punica granatum* Linn. Sobre microrganismos formadores de placa bacteriana. *Revista Periodontia*, v.12, n.4, p.57-64, 2001.
- PEREIRA, N. A.; SIQUEIRA-JACCOUD, R.J.; RUPPEL, B.M.; MATTOS, S.M.P. As plantas medicinais estudadas por Rodolfo Albino Dias da Silva. *Revista Brasileira de Farmacognosia*. 70, 2: 29-33. 1989.
- PEREIRA, N.A. Plants as hypoglycemic agents. *Ciências e Cultura*, v.49, n.5/6, p.354-8, 1997.
- PEREZ, C.; ANESINI, C. In vitro antibacterial of Argentine folk medicinal plants against *Salmonella typhi*. *Journal of Ethnopharmacology*, v.44, p.41-6, 1994.
- PEREZ, C.; SUAREZ, C. Antifungal activity of Plants Extracts against *Candida albicans*. *American Journal of Chinese Medicine*, v.25, n.2, p.181-4, 1997.
- PERRY, R.H. & CHILTON, C.H., *Manual de Engenharia Química*, Seções 12 e 20, 5ª ed. Guanabara Dois, Rio de Janeiro, 1980.
- PETROVICK, P.R. Ofício dirigido à Secretaria Nacional de Vigilância Sanitária em 10.10.1989.
- PIMENTEL, L. D. A cultura da Macadâmia. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 29, p. 414-716, 2007.
- PIRAGIBE, A. *Notícia Histórica da Legislação sanitária no Império do Brasil desde 1822 até 1878*. Rio de Janeiro: E. & H. Laemmert . 1880.
- POYRAZOGLU, E.; GÖKMEN, V.; ARTIK, N. Organic acids and phenolic compounds in pomegranates (*Punica granatum*, L.) grown in Turkey. *J. Food Comp. Anal.*, Kidlington, v. 15, n.5, p. 567- 575, 2002.
- PRASHANTH, D.; ASHA, M.K.; AMIT, A. Antibacterial activity of *Punica granatum*. *Fitoterapia*, v.72, n.2, p.171-3, 2001.
- rabbits preliminary study. *Journal of Ethnopharmacology*, v.78, n.1, p.85-7, 2001.
- RANI, P.; KHULLAR, N. Antimicrobial evaluation of some 111 Rev. Bras. Pl. Med., Botucatu, v.10, n.3, p.104-111, 2008. medicinal plants for their anti-enteric potential

against multi-drug resistant *Salmonella typhi*. *PhytotherapyResearch*, v.18, n.8, p.670-3, 2004.

RÉ, M.I.; FREIRE, J.T. Drying of pastelike materials in spouted beds. *Anais of sixth Drying Simposium*. Versailles, p.426-431. 1988.

ROBBERS, J. E.; SPEEDIE, M.K.; TYLER, V.E. *Farmacognosia e Farmacobiocnologia*. Impreandes Presença S. A Colombia, 1997.

RODRIGUES, M. I e IEMMA, A. F.. *Planejamento de experimentos e otimização de processos: uma estratégia seqüencial de planejamentos*. 1ª Ed.- Campinas,SP: Casa do Pão Editora,2005.

RODRIGUES, M. I e IEMMA, A. F.. *Planejamento de experimentos e otimização de processos: uma estratégia seqüencial de planejamentos*. 1ª Ed.- Campinas,SP: Casa do Pão Editora,2005.

ROSA, M.S., *Apostila de Microbiologia de Alimentos*, Liga de Ensino do Rio Grande do Norte, Faculdade Natalense para o desenvolvimento do Rio Grande do Norte, 2010.

ROSS, R.G.; SELVASUBRAMANIAN, S.; JAYASUNDAR, S. Immunomodulatory activity of *Punica granatum* in rabbits – a preliminary study. *J. Ethnopharmacol.*, Orlando, v.78, n.1, p. 85-87, 2001.

ROSS, R.G.; SELVASUBRAMANIAN, S.;JAYASUNDAR, S. Immunomodulatory activity of *Punica granatum* in rabbits – a preliminary study. *J. Ethnopharmacol.*, Orlando, v.78, n.1, p. 85-87, 2001.

RUNHA, F.P.; CORDEIRO, D.S.; PEREIRA, C.A.M.; VILEGAS, J.; OLIVEIRA, W.P. Production of dry extracts of medicinal Brazilian plants by spouted bed process: Development of process and evaluation of thermal degradation during the drying operations. *Trans IchemE*. v. 79 (C). p. 160-168, 2001.

SAHIN S. Physical properties of parboiled wheat and bulgur produced using spouted bed and microwave assisted spouted bed drying. *Journal of Food Engineering* Volume 98, Issue 2, May 2010, Pages 159–169

SALGADO, A.D.Y. et al. Antiplateque and antigingivitis effects of a gel containing *Punica granatum L.* extract. A doubleblind clinical study in humans. *Journal Applied OralScience*, v.14, n.3, p.162-6, 2006.

SANTANA, E. B. *Análise experimental do comportamento fluidodinâmico e da secagem de sementes de linhaça (Linum usitatissimum L.) em leito de jorro*. 2010.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Belém, 2011. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química.

SANTOS, H. B. et al., Composição Físico-Química dos Frutos da Romã, Instituto Federal, Sertão-PE, 2010

SANTOS L. A., MENEZES J. S., RUFINO L. R. A., OLIVEIRA N. M., FIORINI S. J. E., Avaliação da Atividade de *Punica granatum* Linnaeus contra *Staphylococcus aureus* Isolados de Mastite Bovina e Ação Anti-inflamatória “in vivo”, Revista da Universidade Vale do Rio Verde, v.12 n. 1, (2014)

SANTOS, C.B.; BERNARDINO, G.Z.; SOARES, F.J.; ESPINDOLA, J.D.; ARRUDA, P.M.R.; PAULA, J.R.; CONCEIÇÃO, E.C.; BARA, M.T.F. Preparo e caracterização de tinturas das folhas de chá verde [*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze] Theaceae. Rev. bras. plantas med. v.16 no.4 Botucatu, 2014

SANTOS, M.R.V. Atividade cardiovascular da fração aquosa do extrato hidroalcoólico das folhas de *Sida cordifolia* Linn (Malvaceae) em ratos. Dissertação (Mestrado em Produtos Naturais e sintéticos Bioativos), Laboratório de Tecnologia Farmacêutica, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa /PB, 2002.

SASTRAVAHA, G. et al. Adjunctive periodontal treatment with *Centella asiatica* and *Punica granatum* extracts. A preliminary study. Journal of International Academy of Periodontology, v.5, n.4, p.106-15, 2003.

SAXENA, K., MANAN, J. K., BERRY, S. K. (1987). Pomegranate: post harvest technology chemistry and processing. Indian Food Packer, 41(4), 43–60.

SCHMIDT, P.C.; GONZÁLEZ ORTEGA, G. Passionsblumenkraut: Bestimmung des Gesamtflavoidgehaltes von *Passiflorae herba*. Deutscher Apotheker Zeitung., v. 47, p. 17-26, 1993.

SCHUBERT, S.Y.; LANSKI, E.P.; NEEMAN, I. Antioxidant and eicosanoid anzyme inhibition properties of pomegranate seed oil and fermented juice flavonoids. J. Ethnopharmacol., Orlando, v.66, n.1, p.11-17, 1999.

SCHUBERT, S.Y.; LANSKI, E.P.; NEEMAN, I. Antioxidant and eicosanoid anzyme inhibition properties of pomegranate seed oil and fermented juice flavonoids. J. Ethnopharmacol., Orlando, v.66, n.1, p.11-17, 1999.

- SENNA, E. L.; PETROVICK P. R. ;ORTEGA, G. G. ; BASSANI, V. L. Preparation and characterization of spray dried powders from *Achyrocline satureioides* (LAM) DC extracts. *Phytotherapy Research*, V. 11, nº 2, p. 123-127, 1997.
- SHERWOOD, T.D. The drying of solidsI. *Industrial and Engineering Chemistry*, v.21, n.1,p.12-16, jan. 1939.
- SILVA, R. A. D. *Pharmacopéia dos Estados Unidos do Brasil*. São Paulo. Nacional, 1929.
- SIMÕES, C.M.O.; SCHENKEL,E.P.: GOSMANN, G. ; MELLO, J. C. P.; MENTZ L. A. ; PETROVICK, P. R. *Farmacognosia : da planta ao medicamento*. Porto Alegre, Editora de UFSC, 3ª edição. 833p. 2001.
- SOUZA JR., F. E. *Secagem do resíduo industrial da acerola em leite de jorro: estudos fluidodinâmicos e análise do desempenho do secador*. (2012). 126p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Química, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal (RN).
- SOUZA, J.S. *Secagem de Misturas de Polpas de Frutas Tropicais em Leite de Jorro*. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2009.
- SOUZA, K.C.B. *Desenvolvimento de metodologias analíticas e tecnológicas na obtenção de extrato secos nebulizados de Passiflora edulis forma flavicarpa*. Dissertação. UFRGS,1997.
- SOUZA,C.R.F. *Estudo comparativo da produção de extrato seco de Bauhinia forficata Link pelos processos spray-dryer e leite de jorro*.Dissertação.FCFRP/USP,pp.180,2003.
- SOUZA-JR, F.E. *Secagem do Resíduo industrial da Acerola em Leite de Jorro: Estudos Fluidodinâmicos e Análise do Desempenho do Secador*. 2012, Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Química, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.
- SYARIEF et al. 1989. *Teknologi Penyimpanan Pangan*. Jakarta : Penerbit Arcan.
- TAUFNER, C. F.; FERRAÇO, E. B.; RIBEIRO, L. F. 2006. [Online] *Uso de plantas medicinais como alternativa fitoterápica nas unidades de saúde pública de Santa Teresa e Marilândia, ES. Natureza online* p.30–39. Homepage: [www.naturezaonline.com.br/natureza/conteúdo/pdf/medicinais\\_Strer\\_Mari.pdf](http://www.naturezaonline.com.br/natureza/conteúdo/pdf/medicinais_Strer_Mari.pdf).

- TEIXEIRA NETO, R. O. ; QUAST, D.G. Isotermas de adsorção de umidade em alimentos. Coletânea do Instituto de Tecnologia de Alimentos. Campinas,v.8, p. 141-197,1977.
- TEIXEIRA, F. E. Natureza, um modismo na cultura alternativa. Pau Brasil, São Paulo. 7: 77-79, 1985.
- TEIXEIRA, H. F. Avaliação da influência de adjuvantes farmacêuticos sobre as características físicas, químicas, tecnológicas e farmacológicas de extratos secos nebulizados de *Achyrocline satureioides* (Lam.) DC. Compositae – macela. Dissertação. Porto Alegre: PPG – CF/ UFRS, 1996.
- THOMA, M., VINATORU, M., PANIWNKY, L. e MASON, T.J., Investigation of the Effects of Ultrasound on Vegetal Tissues During Solvent Extraction, *Ultrasonics Sonochemistry* , v. 8, p. 137-142, 2001.
- TOI, M. et al. Preliminary studies on the anti-angiogenic potential of pomegranate fractions. 2003
- VINATORU, M., An Overview of the Ultrasonically Assisted Extraction of Bioactive Principles from Herbs, *Ultrasonics Sonochemistry*, v.8, p.303-313, 2001.
- VORAVUTHIKUNCHAI, S. et al. Effective medicinal plants against enterohaemorrhagic *Escherichia coli* 0157:H7. *Journal of Ethnopharmacology*, v.94, n.1, p.49-54, 2004.
- VORAVUTHIKUNCHAI, S.; KITPIPIT, L.; HATYAI, T.H. Activities of crude extracts of Thai medicinal plants on methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*. *Clinical Microbiology and Infection Supplement*, v.9, n.1, p.236, 2003.
- VORAVUTHUKUNCHAI, S.P. et al. Efficacy of crude extracts of Thai medicinal plants on antibiotic resistant *Helicobacter pylori* strains isolated from peptic ulcers [antimicrobial susceptibility In Gram negative bacteria – II]. *Clinical Microbiology & Infection Supplement*, v.10, suppl. 3, p.334, 2004.
- WERKMAN, C. et al, Aplicações terapêuticas da *Punica granatum* L. (romã), *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais, Botucatu*, v.10, n.3, p.104-111, 2008
- WERKMAN, C.; GRANATO, D.C ; KERBAUY, W.D. ; SAMPAIO, F.C. ; BRANDÃO, A.A.H. ; RODE, S.M., Aplicações terapêuticas da *Punica granatum* L. (romã), *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais, Botucatu*, v.10, n.3, p.104-111, 2008.

YUAN XU.F., ZHANG L. HE., KNEZ , Ž., NOVAK Z., GAO Y., Comparison of the Antioxidant and Antiradical Activity of Pomegranate (*Punica Granatum L.*) by Ultrasound-Assisted and Classical Extraction, *Analytical Letters*, 2015