

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA

MARIANA FORTINI MOREIRA

**CINÉTICA DE SECAGEM DE RASPAS DA ENTRECASCA DO JUAZEIRO
(*ZIZIPHUS JOAZEIRO*) EM CAMADA DE ESPUMA (*FOAM-MAT DRYING*)**

**João Pessoa - PB
JUNHO - 2018**

MARIANA FORTINI MOREIRA

MARIANA FORTINI MOREIRA

**CINÉTICA DE SECAGEM DE RASPAS DA ENTRECASCA DO JUAZEIRO
(*ZIZIPHUS JOAZEIRO*) EM CAMADA DE ESPUMA (*FOAM-MAT DRYING*)**

Trabalho Final de Curso apresentado á
Coordenação do Curso de Engenharia Química
como requisito parcial para a obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Química.

Orientadora: Profa. Dra. Josilene de Assis
Cavalcante

**João Pessoa - PB
JUNHO - 2018**

M838c Moreira, Mariana Fortini.

CINÉTICA DE SECAGEM DE RASPAS DA ENTRECASCA
DO JUAZEIRO (ZIZIPHUS JOAZEIRO) EM CAMADA DE
ESPUMA (FOAM-MAT
DRYING) / Mariana Fortini Moreira. - João Pessoa, 2018.
49 f. : il.

Orientação: Josilene de Assis Cavalcante.

Monografia (Graduação) - UFPB/CT.

1. espumante; umidade final; temperatura. I. Cavalcante,
Josilene de Assis. II. Título.

UFPB/BC

MARIANA FORTINI MOREIRA

**CINÉTICA DE SECAGEM DE RASPAS DA ENTRECASCA DO JUAZEIRO
(ZIZIPHUS JOAZEIRO) EM CAMADA DE ESPUMA (FOAM-MAT DRYING)**

Trabalho Final de Curso apresentado á
Coordenação do Curso de Engenharia Química
como requisito parcial para a obtenção do título
de **Bacharel em Engenharia Química**.

Aprovado em 18 de Junho de 2018



Prof(a). Dr(a). Josilene de Assis Cavalcante



Prof(a). Dr(a). Andrea Lopes de Oliveira Ferreira



Me. Rafael Farias de Oliveira

Dedico esse trabalho primeiramente a Deus, por me conceder força e coragem para chegar até aqui. E aos meus pais, que são minha base, minha fonte de inspiração e minha força, que me incentivam e me apoiam incondicionalmente.

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente à Deus pelo dom da vida, por ter me concedido saúde, e forças, para não desistir nos momentos de tribulação. Sem Ele, nada disso seria possível.

À minha mãe Maria José, por sempre ser o alicerce da nossa família, e ser um exemplo de mulher e mãe, que sempre me escutou e me aconselhou, ajudou, incentivou, que acompanhou esses cinco anos da minha vida acadêmica de perto, acreditando sempre em mim. Que sempre se dedicou tanto a nossa família, pelo carinho, pelo amor.

Ao meu pai Lenilson, por ser um exemplo de homem batalhador, que apesar das dificuldades nunca se deixou acomodar, correndo sempre atrás dos seus objetivos. Que me ensina diariamente o valor do trabalho, da honestidade, humildade, és um exemplo para mim. Por toda a sua dedicação e batalha diária, para nos dar sempre o melhor.

Ao meu irmão Leonardo, pelo companheirismo e amizade, pelos desabafos e conversas, por sempre estar presente em todos os momentos.

As minhas amigas de longas datas, Mikaelle Lopes e Sarah Azevedo, por estarem comigo desde o ensino médio, nas alegrias e nas dificuldades também.

Aos amigos que entraram na minha vida nesses cinco anos de curso. Em especial Ananda Muniz, Germano Andrade, Francisco Evanildo, Ana Elizabeth, Romário Ewerton, Emmanuel Uchoa. Aos agregados Vanessa Oliveira e Aleff Castro. Ao meu melhor amigo Elvis Delano, por estar sempre comigo em todos os momentos, por escutar meus desabafos, me ajudar, me incentivar, me fazer sorrir, por sempre estar presente. Vocês tornaram a caminhada mais leve e feliz. As amigas e colegas professoras do CCAA Mariana Evangelista e Rossana Santos.

Ao meu namorado Gerônimo Lucena, que apesar do pouco tempo, me alegra e incentiva, e torna meus dias melhores.

Aos professores do Departamento de Engenharia Química da UFPB, aos quais saúdo e abraço na pessoa da professora Vivian Stumpf – sobretudo esta, por ser um exemplo de mulher e professora, no qual me inspirou a ser melhor nessa profissão -, que contribuíram para o meu crescimento profissional e pessoal. E especialmente, a professora Josilene de Assis Cavalcante, que além de ter sido professora, também foi uma grande educadora, por toda amizade, carinho, paciência, e apoio, e todos os ensinamentos, durante toda minha graduação.

Aos companheiros do laboratório de Secagem, em especial Jessica Kelly e Karina Soares, que contribuíram muito para o desenvolvimento deste trabalho.

*"Quando não mais existirmos, o bem e o belo que
houvermos feito, continuarão o seu trajeto por
nós."*

(Santo Agostinho)

RESUMO

O Juazeiro é uma planta da família das Rhamnaceae, de nome científico *Zizyphus joazeiro*, também conhecida como joá, joazeiro, juazeiro, entre outras. As raspas da entrecasca do juazeiro têm várias aplicações, a principal é a de substituírem o sabão nos lugares onde a água é pesada, salobra, por possuir propriedades saponáceas. O chá e o xarope feitos das raspas e folhas podem ser utilizados com fins medicinais. De uma forma simples, a secagem é um processo no qual calor é fornecido para um determinado material com a finalidade de desprender ou evaporar o teor de umidade que existe no seio ou na superfície do material, obtendo então um produto livre de umidade, isto é, seco. A secagem em camada de espuma (*foam-mat drying*) aplica-se à secagem de alimentos líquidos ou semilíquidos, os quais são transformados em uma espuma estável pela incorporação de ar em sua estrutura e adição de agentes emusificantes/estabilizantes/espumantes, quando necessário. Esse trabalho tem como objetivo o estudo da cinética de secagem em camada de espuma (*foam-mat drying*) das raspas da entrecasca do juazeiro para a obtenção do seu pó. No presente trabalho foi realizada a caracterização da espuma obtida através: da densidade, incorporação de ar e estabilidade, assim como uma análise da cinética de secagem da mesma. As cinéticas foram realizadas baseadas em um planejamento fatorial $2^3 + 3$ pontos centrais, onde as variáveis de entrada analisadas foram: tempo de agitação, massa de raspas da entrecasca e temperatura de secagem. A secagem foi feita em uma estufa de circulação de ar. Verificou-se a influência das variáveis e constatou-se que a temperatura de secagem é a variável que mais influenciou o tempo de secagem das raspas do juazeiro. A utilização desse método para a secagem das raspas da entrecasca do juazeiro apresentou bons resultados.

Palavras-chaves: espumante; umidade final; temperatura;

ABSTRACT

Juazeiro is a plant of the family of the Rhamnaceae, which scientific name is ZIZIPHUS JOAZEIRO, also known like joá, joazeiro, juazeiro, among others. It is a tall tree, which reaches from 5m to 15m in height, abundant, thorny. With coriaceous leaves, small flowers and globose fruit. Juazeiro's bark scrapes have several applications, the main one is to replace the soap in places where the water is heavy, brackish, because it has saponáceas properties. Tea and syrup made from zest and leaves can be used for medicinal purposes. Recently, various hygiene and cosmetic products industrialized have included juazeiro in the composition of its products. In a simple manner, drying is a process in which heat is supplied to a particular material for the purpose of unleashing or evaporating the moisture content that exists on the breast or on the surface of the material, thereby obtaining a moisture-free product, i.e. , dried. Foam-mat drying applies to the drying of liquid or semi-liquid foodstuffs, which are converted into a stable foam by the incorporation of air into their structure and the addition of emulsifying/stabilizing/foamy agents when necessary, and has the characteristic of adding high commercial value and quality to the products, offering great possibilities of commercialization and uses. This work has the objective of studying the kinetics of foam-mat drying of the juazeiro to obtain its powder. In the present work the characterization of the foam obtained was made through: density, air incorporation and stability, as well as an analysis of the drying kinetics of the same was performed. The kinetics were performed based on a factorial planning $2^3 + 3$ central points, where the input variables analyzed were: agitation time, bark concentration and drying temperature. The drying was done in an air circulating drying oven. It was verified the influence of the variables and it was contacted that the drying temperature is the variable that most influences the drying time of the juazeiro's barks. The use of this method for the drying of the juazeiro's barks showed good results.

Keywords: foaming; final moisture; temperature

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
2. OBJETIVOS.....	14
2.1 Objetivo geral	14
2.2 Objetivos específicos.....	14
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
3.1 Juazeiro.....	15
3.1.1 Uso como planta medicinal	16
3.1.2. Propriedades Físico-Químicas.....	17
3.1.3 Formação de espuma/Saponinas.....	18
3.1.4 Composição Nutricional	19
3.2 Secagem.....	20
3.2.1 Curva de secagem.....	21
3.2.2 Secagem em camada de espuma.....	23
4. MATERIAL E METODOLOGIA.....	25
4.1 Matéria-Prima.....	25
4.2 Metodologia.....	25
4.2.1 Planejamento Fatorial	25
4.2.2 Produção da espuma	27
4.2.3 Caracterização da espuma	27
4.2.4 Cinéticas de secagem em camada de espuma.....	29
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	31
5.1 Caracterização da espuma	31
5.1.1 Densidade da espuma	31
5.1.2 Estabilidade da espuma.....	32
5.2 Secagem em camada de espuma.....	34
5.2.1 Análise da cinética de secagem	35

6. CONCLUSÕES	46
REFERÊNCIAS	47

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO

O juazeiro (*Zizyphus joazeiro*) é uma planta pertencente à família das Rhamnaceae encontrada na região semiárida do Nordeste, conhecida popularmente como joazeiro, juazeiro ou laranja-do-vaqueiro, predominando no bioma da Caatinga. É uma árvore alta, que atinge de 5 a 15 metros de altura, endêmica e perenifólia, que permanece verde, durante as longas secas do sertão nordestino, tendo ampla distribuição e ocorrendo em todos os estados dessa região (REIS, 2013).

A árvore do juazeiro possui casca lisa, com galhos que descem até próximo ao solo. Os ramos são flexuosos, normalmente com a presença de espinhos, as folhas são coriáceas, ou seja, textura semelhante ao couro que se quebra facilmente, e verde lustroso, o fruto é arredondado, amarelo-castanho levemente áspero. Possui raízes vigorosas e profundas, o que faz com que o juazeiro permaneça verde, apesar da seca (SOUSA, 2013).

Por ser uma das poucas plantas que resistem a climas extremos, é bastante apreciado pela população dos locais onde cresce nativamente, e é utilizada para diversos fins. As raspas da casca do Juazeiro têm várias aplicações, a principal é a de substituírem o sabão nos lugares onde a água é pesada, salobra. De fato, elas guardam uma propriedade saponácea que, em qualquer água, espuma abundantemente, retirando das mãos as gorduras e sujeiras nelas contido e também dos tecidos. Na própria água do mar, ela espuma.

O chá das raspas pode ser aplicado nas pancadas e nos ferimentos. O xarope feito das raspas e folhas é uma boa panacéia porque, é poderoso contra a bronquite, gripes acompanhadas de tosse e até na tuberculose, afinal facilita a expectoração (REIS, 2013). Um pouco da raspa em um copo com água, deixando-se macerar para ser ingerido antes das refeições, combate gastrites e melhora a colite (CÉZAR, 1956).

Ainda, segundo Cézar (1956), em tintura ou mesmo seca, a raspa é reduzida a pó, sendo utilizada para higiene bucal, porém é preciso ter cuidado com o uso prolongado, pois é muito abrasivo e afeta o esmalte dos dentes. Estudos farmacológicos apontam que o juazeiro pode ser mais eficaz do que os cremes dentais industrializados no combate à placa dental. Diversos produtos de higiene e estética contém o juazeiro em sua composição, sendo indicado como "raspa de juazeiro" (BRASIL, 1989).

As partes mais utilizadas do Juazeiro são as folhas, frutos, casca e raiz (REIS, 2013). O suco de juazeiro serve para amaciar e clarear a pele do rosto. As cascas e as folhas são usadas na medicina popular do nordeste, na forma de extrato feito com água, usado por via oral para alívio de problemas gástricos. Dentre todas as partes do juazeiro, a entrecasca é a

parte que possui mais saponinas, logo a entrecasca do juazeiro é a região que possui maiores propriedades que produzem espuma (BARROS, 2015).

O homem em seu desenvolvimento tecnológico sentiu a necessidade de criar técnicas que fossem capazes de aumentar a segurança alimentar dos alimentos e das plantas tendo em vista a perecibilidade dos mesmos. E uma das técnicas desenvolvidas foi a desidratação. A desidratação consiste na remoção da água livre presente, tornando o alimento mais seguro. O processo de secagem trata-se de um processo onde a água, ou qualquer outro líquido, é retirado de um determinado material.

Este se difere do processo de evaporação, pois é realizado em uma temperatura menor que a temperatura de ebulição do líquido, o que não ocorre na evaporação. É importante que o método de secagem seja estudado para que este não altere as características do produto final, assim como, seja capaz de agregar valor ao mesmo.

Mesmo apresentando essas desvantagens em relação à composição nutricional dos alimentos, por exemplo, a secagem apresenta diversas vantagens quando utilizada para secagem de diversos outros materiais, entre elas: o aumento da vida útil do produto, facilidade no transporte e comercialização, redução nas perdas, entre outros. Trata-se de um processo econômico e, mesmo com alguma perda, o processo concentra os nutrientes presentes (CELESTINO, 2010).

A secagem em camada de espuma (*foam-mat drying*) é uma técnica que transforma alimentos ou materiais líquidos ou semilíquidos em espumas estáveis, por meio de uma forte agitação e incorporação de agentes espumantes, para em seguida serem desidratados. Alguns materiais naturalmente contêm proteínas e/ou saponinas que produzem espumas quando batidos. Quando o material não produz a espuma necessariamente estável para a secagem, agentes espumantes são adicionados. Uma das vantagens da secagem em camada de espuma é a capacidade de manter a alta qualidade dos produtos, apresentando grandes possibilidades para a indústria alimentícia, assim como para indústria de cosméticos e também para o ramo da farmacologia no tocante ao uso das ervas medicinais (SANKAT e CASTAIGNE, 2004).

Por possuir uma quantidade considerável de saponinas, o juazeiro se torna um material interessante para a secagem em camada de espuma, uma vez que forma espumas estáveis sem que seja necessária a adição de agentes espumantes, o que torna também interessante, o estudo do seu uso como agente espumante.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Estudar a cinética de secagem em camada de espuma (*foam-mat drying*) da raspa da entrecasca do juazeiro (*Ziziphus joazeiro*) para obtenção do juazeiro em pó.

2.2 Objetivos específicos

- Realizar a caracterização da espuma obtida da polpa da entrecasca do juazeiro antes da secagem;
- Realizar a secagem em camada de espuma, utilizando um planejamento experimental fatorial completo $2^3 + 3$ pontos, variando os parâmetros: tempo de agitação da polpa, velocidade de agitação e temperatura de secagem;
- Analisar a influência das variáveis estudadas a partir das curvas de cinética de secagem obtidas.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Juazeiro

O juazeiro (*Zizyphus joazeiro*) é uma planta encontrada na região semiárida do Nordeste, pertencente à família Rhamnaceae, conhecida popularmente como joazeiro, juazeiro ou laranja-do-vaqueiro, sendo o representante mais notável do bioma da Caatinga (LORENZI e MATOS, 2002). É uma espécie de médio porte, endêmica e perenifólia, que permanece verde, durante as longas secas do sertão nordestino, tendo ampla distribuição e ocorrendo em todos os estados dessa região.

A árvore do juazeiro (Figura 1) mede aproximadamente de 5 a 15 m de altura, e dependendo de onde se desenvolve chega até a 16 m. Possui casca lisa, cinza-escura, levemente castanha, a copa geralmente é densa, verde-escura, com galhos que descem até próximo ao solo. Os ramos são flexuosos, subdivididos, retorcidos com a presença de espinhos axilares, rígidos, retos, medindo de 1 a 4 cm de comprimento. As folhas são verde lustroso, e geralmente medem de 5 a 7 ou até 10 cm de comprimento e de 3 a 5 cm de largura. O fruto é uma dupla pequena arredondada, amarelo-castanho levemente áspero. O sistema radicular é vigoroso, com raízes amplas e profundas, que buscam água a grandes profundidades, por isso são árvores muito resistentes aos períodos de secas, mantendo-se verde todo o tempo (SOUSA, 2013).

Figura 1 - Árvore do Juazeiro



Fonte: BILL (2015)

O juazeiro se desenvolve mais facilmente em solos aluviais argilosos, mas cresce por toda parte, inclusive, nos tabuleiros mais áridos e pedregosos, onde adquire feição arbustiva (AGRA, 1996).

É uma árvore de grande importância para a população nordestina, e possui uma carga histórica considerável, uma vez que é utilizada para inúmeras funções, tais como: alimento para o gado na seca, frutos para a alimentação humana. Sua madeira também é utilizada, por ser de boa qualidade e durável, para fins ornamentais (MONIZ-BRITO et al., 2005).

Comercialmente é explorada pelas indústrias farmacêuticas na fabricação de cosméticos, creme dental, xampus anticaspas, dentre outros cosméticos, uma vez que as saponinas encontradas na casca do juazeiro são responsáveis pela espuma e pela sua alta capacidade de limpeza (AGRA, 1996).

3.1.1 Uso como planta medicinal

Desde os anos 70, a Organização Mundial da Saúde vem apontando a importância da medicina tradicional como uma alternativa a descoberta de novas drogas (PAN et al., 2013), e com isso a maioria da população tem tido cada vez mais acesso a informações sobre plantas medicinais para o tratamento de diversas doenças.

Mesmo nas regiões menos favorecidas, o acesso a essas plantas é fácil e rápido, uma vez que elas podem ser encontradas em fazendas, feiras e em jardins, e apesar do enorme desenvolvimento da síntese de compostos, 25% das drogas prescritas tem origem em plantas medicinais (RATES, 2001).

O juazeiro (*Ziziphus joazeiro*) é um exemplo de planta facilmente encontrada, muito utilizado na medicina tradicional, onde a população das regiões onde é encontrado usa o extrato das folhas, casca, entrecasca e raízes para o tratamento de febres, infecções bacterianas, dores, gengivite, problemas respiratórios, hepáticos, cardíacos, entre outras enfermidades.

Tradicionalmente na medicina popular nordestina, o extrato da folha feito com água é usado, por via oral, para alívio de problemas gástricos e expectorantes; a entrecasca, rica em saponina, é usada para limpeza dos cabelos e dos dentes, sendo também utilizado como tônico capilar para o controle de caspas.

Para o combate a infecções, a entrecasca é indicada como analgésico, bactericida, febrífugo, cicatrizante tópico, para gengivites, higiene bucal, tônico hepático e cardíaco, adstringente, diurético, tônico capilar para seborreia e alopecia, e infecções respiratórias como

tosse e bronquite (ITF, 2008). Além disso, pesquisas vêm comprovando cada vez mais a eficácia dessa planta para o tratamento de inúmeras doenças.

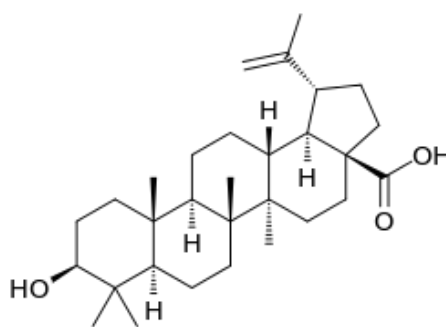
Foram realizados estudos da atividade antifúngica da estrecasca do Juazeiro, avaliando sua ação contra monilíase e dermatoses, foi observado atividade importante frente várias bactérias, com resultados semelhantes ao antibiótico, além de propriedades nas quais apoiam o uso popular, confirmando o valor da etnofarmacologia e sua biodiversidade (CRUZ et al., 2007), o que evidencia o aumento da procura por substâncias alternativas e mais baratas.

3.1.2. Propriedades Físico-Químicas

De acordo com Reis (2013) os principais princípios ativos presentes do juazeiro são: ácido betulínico, ácido oleamólico, amido, anidrido fosfórico, cafeína, celulose, hidratos de carbono, óxido de cálcio, proteína, sais minerais, saponina e vitamina C.

O juazeiro é uma ótima fonte de ácido betulínico, assim como dos três ésteres derivados somente encontrados nele até agora. O ácido betulínico é um triterpeno pentacíclico (Figura 2), que pode ser encontrado em muitas plantas, frutos e vegetais, embora em pequenas quantidades. Contudo, em maiores quantidades pode ser extraído da camada mais externa da entrecasca do *Ziziphus joazeiro* (CICHEWICZ et al., 2004; CSUK et al., 2006).

Figura 2 - Estrutura química do ácido betulínico



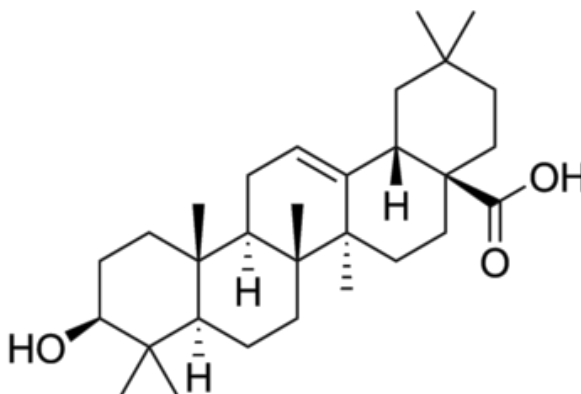
Fonte: UNIQUIM (2015)

Esse ácido é reconhecido por sua atividade antibiótica moderada e atividade anticancerosa, e a presença dos seus três ésteres no juazeiro revelou propriedades bactericidas potentes. Inúmeras pesquisas vêm sendo desenvolvidas acerca dessa substância, envolvendo o tratamento e prevenção do melanoma humano.

Em um estudo clínico *in vivo*, o ácido betulínico inibiu completamente o crescimento do tumor e sem toxicidade, em outro estudo, o ácido betulínico inibiu a cultura de um carcinoma humano de boca e linhagens de células de melanoma humano. Cientistas brasileiros validaram seu uso como bactericida, e demonstraram sua atividade anti-inflamatória, além do extrato da folha que contém esse ácido, que cura e previne as infecções bacterianas secundárias causadas pelo bicho-geográfico (CZUK, 2014).

Outro ácido encontrado no Juazeiro é o ácido oleanólico (Figura 3), um triterpeno pentacíclico que ocorre amplamente em muitas plantas como ácido livre, ou na forma de aglicona de muitas saponinas. É encontrado naturalmente em muitas plantas além do juazeiro, sendo um dos componentes das azeitonas e das uvas.

Figura 3 - Estrutura química do ácido oleanólico



Fonte: NHK (1998)

3.1.3 Formação de espuma/Saponinas

Segundo Sankat e Castaigne (2004), a formação de espuma está relacionada a uma propriedade funcional das proteínas. No juazeiro, além da presença de proteínas e lipídeos que atribuem à capacidade de formar espuma, tem-se também a presença das saponinas.

Saponinas são glicosídeos de esteróides ou de terpenos policíclicos. É uma estrutura de caráter anfifílico, parte da estrutura com características lipofílicas (triterpeno ou esteróide) e outra hidrofílica (açúcares). Essa característica determina a propriedade de redução da tensão superficial da água e suas ações detergentes e emulsificantes (SCHENKEL et al., 2001).

São derivadas do metabolismo secundário das plantas, relacionados, principalmente com o sistema de defesa. São encontradas nos tecidos que são mais vulneráveis ao ataque

fúngico, bacteriano ou predatório dos insetos (WINA et al., 2005), sendo consideradas parte do sistema de defesa das plantas e são indicadas como fitoprotetoras (PIZARRO, 1999). Essa atividade seria devido à interação com os esteróis da membrana (FRANCIS et al., 2002).

Seu comportamento anfifílico juntamente com a capacidade de formar complexos com esteróides, proteínas e fosfolipídios de membranas, possibilitam ações biológicas variadas. Na indústria, suas propriedades surfactantes são utilizadas para a preparação de emulsões para filmes fotográficos e, principalmente, na indústria de cosméticos em batons e xampus. Na indústria alimentícia, são usadas como flavorizantes e como agente espumante.

Com a saponina presente no juazeiro, se destaca a sua capacidade de produzir espuma. As espumas são um estado, onde bolhas de gás se dispersam e ficam suspensas dentro de um sólido ou de um líquido. A espuma é formada a partir de uma agitação, onde bolhas de ar são cercadas por proteínas e/ou saponinas que passaram por uma desnaturação da superfície líquido-ar.

Essa desnaturação é causada pela desidratação e estiramento desta durante o batimento, tornando-se parte dessa proteína insolúvel, endurecendo e estabilizando a espuma. A agitação excessiva incorpora muito ar, distendendo a proteína tornando-a fina e menos elástica (PLETI, 2008).

O juazeiro não é aparentemente sensível ao batimento excessivo. A capacidade de formação e estabilização da espuma é uma propriedade muito valiosa através de diversas proteínas, assim como de outros materiais como os lipídeos, e alguns ácidos, e seus derivados, enquanto que estas facilitem a formação de espuma, promovam a estabilização e permitam a fixação através de coagulação térmica (BALCH, 2005).

3.1.4 Composição Nutricional

Na perspectiva de Silva (2014), em seu estudo sobre as caracterizações físico-química e química do fruto do juazeiro, determinou as propriedades e composição nutricional do fruto do juazeiro, assim como da sua entrecasca. Foram observados valores de carboidratos de 17,59%, esses valores, quando comparados com os dados reportados pela Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TACO) (NEPA, 2011), permite verificar que o juazeiro apresenta valor de carboidrato bem superior a outras frutas, tais como acerola (8,0%), umbú (9,4%) e goiaba (13,0%).

Os valores encontrados para proteínas são de 2,01%, o que mostra que o fruto do juazeiro é um alimento rico desse nutriente. As cinzas, que correspondem aos minerais

presentes no alimento, apresentam valores de 0,76% para o juazeiro *in natura*, bem como teor de lipídios baixo (0,52%), não sendo considerado uma boa fonte desses nutrientes e fibras com 0,11%.

Observa-se ainda, um valor elevado para umidade, próximo a 80% de água livre, o que mostra que esse fruto pode ser bastante suscetível ao ataque de microrganismos, demonstrando a necessidade do uso de bons métodos de conservação aplicados ao seu processamento.

3.2 Secagem

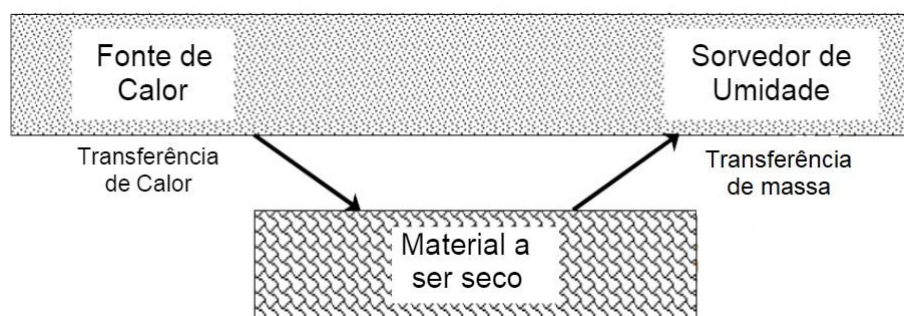
A secagem pode ser definida como o processo de remoção de substâncias voláteis (umidade) através do uso de energia térmica, para se obter um produto sólido (KEEY, 1975). A principal finalidade da secagem é a diminuição do teor de água presente no alimento, com o intuito de inibir o crescimento microbiano responsável pela deterioração dos alimentos (TRAVAGLINI et al., 1993).

Segundo Keey (1992), e, Strumillo e Kudra (1986), a secagem é nada mais que a transferência da umidade na forma de vapor para uma fase gasosa não saturada. Isso ocorre quando a pressão de vapor do líquido presente no alimento for maior que a pressão do vapor do mesmo líquido na fase gasosa.

Podem ser observados dois processos simultâneos nessa operação unitária: transferência de calor, através da vaporização do líquido, sendo essa dependente das condições externas de temperatura, umidade do ar, velocidade e direção do ar, área de exposição do sólido e pressão; e a transferência de massa do líquido ou vapor presente no interior do material e posterior evaporação devido ao primeiro processo, sendo que o movimento interno da umidade no material sólido depende da natureza física do sólido, temperatura e conteúdo de umidade, para a atmosfera na forma de vapor.

Durante a secagem é necessário um fornecimento de calor para evaporar a umidade do material e também um sorvedor de umidade para remover vapor de água formado a partir do material a ser seco, como mostrado na Figura 4.

Figura 4 - Diagrama do processo de secagem



Fonte: Park et al.(2007)

O trajeto da água do interior do material até a superfície é regida pelos mecanismos de transferência de massa, que indica se a transferência de massa ocorrerá facilmente ou se ocorrerá com alguma resistência. Os mecanismos mais importantes que ocorrem no processo de secagem são: difusão líquida, devido ao gradiente de concentração; difusão do vapor, que ocorre devido ao gradiente de pressão de vapor causado pelo gradiente de temperatura; escoamento de líquido e de vapor, que ocorre em decorrência da diferença de pressão externa, de concentração, capilaridade e alta temperatura.

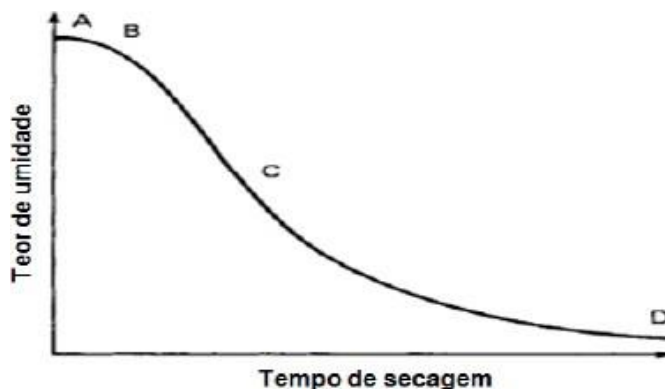
3.2.1 Curva de secagem

A cinética de secagem é a rapidez com que o material perde umidade, e é controlada pelas características do próprio material, assim como pela influência da temperatura, velocidade e umidade relativa do ar (CELESTINO, 2010).

Segundo Park et al., (2007), quando o produto é colocado em contato com o ar quente, ocorre uma transferência de calor do ar ao produto sob efeito da diferença de temperatura existente. Ao mesmo tempo que, a diferença de pressão parcial do vapor da água existente entre o ar e a superfície do produto, determina uma transferência de matéria (massa) para o ar.

A evolução dessas transferências simultâneas de calor e massa no decorrer da secagem faz com que vários dados e análises possam ser feitas (Figura 5).

Figura 5 - Exemplo de curvas de secagem



Fonte: FOUST et al. (1983).

Analisando os pontos (A, B, C e D), destacados na curva vermelha (a), pode-se observar as três etapas características da secagem segundo Cruz (2013), denominadas período de indução/estabilização, período de taxa constante e período de taxa decrescente.

A três etapas são descritas por Park et al. (2007) da seguinte maneira:

- Período de indução/estabilização: Consiste no trecho AB mostrado na Figura 5, é o período que se entra em regime operacional. Inicialmente, o produto possui uma temperatura menor do que o ar, a pressão parcial de vapor da água na superfície do produto é pequena, e consequentemente a transferência de massa e a velocidade de secagem também serão pequenas. O calor chegando em excesso provoca o aumento da temperatura do produto, aumentando assim a pressão e a velocidade de secagem. Isso continua até que a transferência de calor compense a transferência de massa.
- Período de taxa constante: Nesse período, marcado no gráfico da Figura 5 como o trecho BC, a água evapora como água livre, a pressão de vapor de água na superfície é constante e igual a pressão de vapor da água pura a temperatura do produto. A temperatura do produto, por sua vez, é constante e igual a temperatura de bulbo úmido, devido a compensação que ocorre entre a transferência de massa e de calor, consequentemente, a velocidade de secagem também é constante. Esse processo continua enquanto a migração de água do interior até a superfície do produto seja suficiente para acompanhar a perda por evaporação de água na superfície.
- Período de taxa decrescente: é o período em que ocorre diminuição da velocidade de secagem, trecho CD do gráfico da Figura 5. Isso ocorre quando a quantidade de água

na superfície do produto diminui. A troca de calor não é mais compensada pela transferência de massa, e consequentemente, a temperatura do produto aumenta e tende a se aproximar da temperatura do ar. É nesse período em que é mais suscetível danos ao material, devido a esse aumento de temperatura do mesmo, por isso é importante controlar a temperatura, assim como o tempo de secagem, para que não ocorra perdas de massa, devido a queima de matéria seca.

3.2.2 Secagem em camada de espuma

A secagem em camada de espuma (*foam-mat drying*) é uma das diferentes técnicas de secagem, essa técnica ocorre pela transformação de um alimento líquido ou semilíquido, em uma espuma estável, pela incorporação de ar e adição de agentes espumantes e/ou estabilizantes. A espuma formada é desidratada, obtendo um produto em pó fino (DELMIRO, 2016).

Consiste em basicamente três etapas: modificação da consistência líquida do suco ou polpa em uma espuma estável pela adição do agente espumante, quando necessário, com posterior secagem do material em camada fina e pulverização do material desidratado (TRAVAGLINI et al, 2001).

Alimentos com baixo teor de proteína são exemplos de materiais que não produzem espuma, por isso a adição de agentes espumantes e estabilizadores, muitas vezes, faz-se necessária. Nesse método, esses agentes são adicionados em diferentes concentrações e sua eficácia pode ser medida através da capacidade de formação e estabilidade da espuma.

Uma vez que a estrutura, capacidade de expansão e estabilidade da espuma formada são fatores chaves no fenômeno de transferência de massa, e consequentemente, na qualidade do produto final, a escolha do agente espumante adequado é de suma importância (FALADE e OKOCHA, 2012).

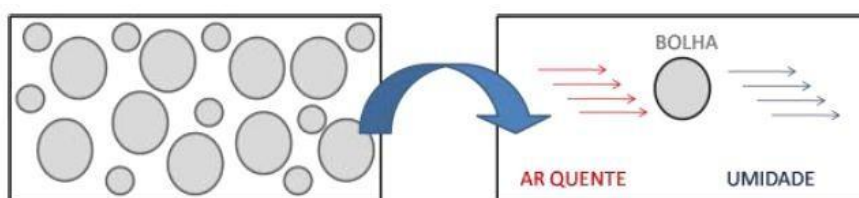
Para que o processo de secagem seja eficiente, as espumas devem se manter mecânica e termodinamicamente estáveis, pois se ocorrer o colapso da mesma, uma desestruturação celular e uma ineficiente retirada da água da superfície podem ocorrer, e consequentemente podem resultar em um comprometimento do produto final (BAG et al., 2011; KRASAEKOOPT e BHATIA, 2012).

Segundo Delmiro (2016) a formação de espuma pode ser influenciada pela composição química do alimento, percentual de sólidos solúveis totais, tensão superficial, temperatura da amostra durante a formação da espuma, concentração e tipo do agente

espumante (albumina, leite isolado proteico de soja) ou estabilizantes (gelatina, carboximetilcelulose, goma xantana), tamanho das partículas das emulsões (pequenas geram mais estabilidade), viscosidade newtoniana, tempo de batimento, método de incorporação de ar, entre outros.

Na Figura 6 é mostrado um esquema de como a secagem em camada de espuma (*foam-mat drying*) ocorre. Inicialmente, tem-se a formação da espuma, que por sua vez é exposta a uma corrente de ar quente, ocasionando assim a secagem pela retirada de umidade, que ocorre como resultado do movimento da água pelas forças capilares, através da película líquida que separam as bolhas das espumas.

Figura 6 - Esquema da secagem em camada de espuma.



Fonte: Adaptado de DANTAS (2010).

Entre as vantagens desse método, têm-se as baixas temperaturas e curtos tempos de secagem, consequência da maior área superficial exposta ao ar, provocado pela formação da espuma, o que facilita a transferência de calor e massa. O aumento da área superficial, ao mesmo tempo que confere uma boa vantagem ao método, torna-se desvantagem no sentido de que, para se conseguir altas taxas de produção, uma grande área superficial faz-se necessária.

Sua capacidade de transformar matérias primas de difícil secagem em produtos com qualidade e características finais aceitáveis, tais como: a fácil reidratação, preservação da cor e sabor, e retenção de compostos voláteis que normamente são perdidos se aplicado outro método de secagem, fazem com que essa técnica venha sendo cada vez mais estudada.

4. MATERIAL E METODOLOGIA

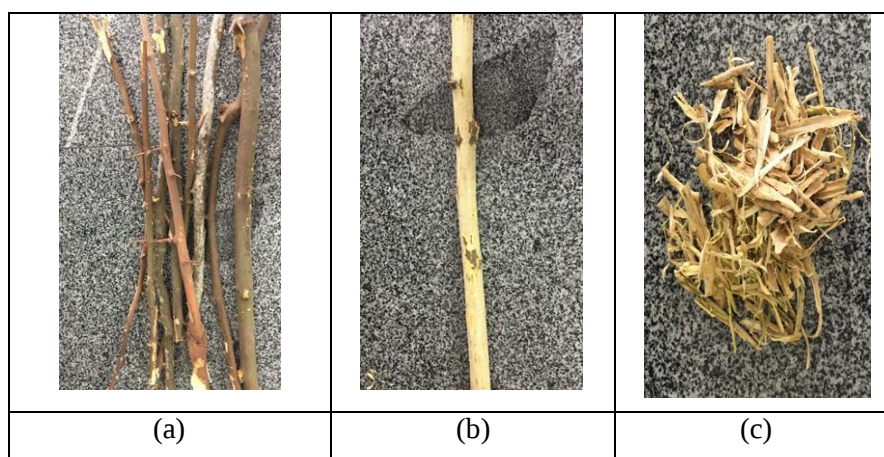
4.1 Matéria-Prima

A matéria prima utilizada no presente estudo foram galhos de juazeiro coletados de juazeiros localizados no município de Lucena (Latitude: 06° 54' 08" S; Longitude: 34° 52' 08" W), situado no estado da Paraíba.

Os galhos foram coletados diretamente dos juazeiros, ainda verdes. Em seguida, encaminhados para o Laboratório de Termodinâmica do Departamento de Engenharia Química do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba (DEQ/CT/UFPB), onde todos os experimentos foram realizados, onde foram submetidos a algumas etapas de preparação, para em seguida ser utilizado nos experimentos.

A primeira etapa consistiu em um pré-tratamento que consistiu na limpeza dos galhos, com o intuito de remover sujeiras, areia e interferentes externos. Após a limpeza, na segunda etapa, os galhos foram raspados, a fim de retirar a casca dos mesmos, expondo assim a entrecasca. Na terceira etapa, foi feita a remoção da entrecasca do galho, obtendo assim raspas da entrecasca (Figura 7).

Figura 7 - Preparação da matéria prima: (a) limpeza, (b) remoção da casca e (c) raspagem.



4.2 Metodologia

4.2.1 Planejamento Fatorial

A cinética de secagem em camada de espuma da entrecasca do juazeiro foi feita de acordo com um planejamento fatorial completo $2^3 + 3$ pontos centrais, totalizando assim 11 experimentos. Foi verificada a influência das variáveis de entrada: tempo de agitação da amostra na bateadeira; concentração de juazeiro e temperatura de secagem. Nas variáveis de saída: tempo de secagem e umidade final do produto.

Nas Tabelas 1 e 2 são mostradas as variáveis independentes e a matriz do planejamento experimental fatorial, respectivamente.

Tabela 1 - Valores das variáveis independentes

Variáveis independentes	Níveis		
	-1	0	1
Tempo de agitação (min)	3	4	5
Concentração de juazeiro (g)	0,1	0,2	0,3
Temperatura de secagem (°C)	50	60	70

Tabela 2 - Matriz do planejamento fatorial completo $2^3 + 3$ pontos centrais

Nº de Experimentos	Variáveis independentes		
	t _{ag} (min)	C (g/mL)	T (°C)
1	3 (-1)	0,1 (-1)	50 (-1)
2	5 (1)	0,1 (-1)	50 (-1)
3	3 (-1)	0,3 (1)	50 (-1)
4	5 (1)	0,3 (1)	50 (-1)
5	3 (-1)	0,1 (-1)	70 (1)
6	5 (1)	0,1 (-1)	70 (1)
7	3 (-1)	0,3 (1)	70 (1)
8	5 (1)	0,3 (1)	70 (1)
9	4 (0)	0,2 (0)	60 (0)
10	4 (0)	0,2 (0)	60 (0)
11	4 (0)	0,2 (0)	60 (0)

tag - tempo de agitação; c - concentração de juazeiro; T - temperatura de secagem

4.2.2 Produção da espuma

Inicialmente, de acordo com o planejamento experimental, quantidades da entrecasca do juazeiro foram pesadas, e batidas em um liquidificador com 300 mL de água, por um tempo fixo de 3 minutos. As quantidades utilizadas foram de 30g/300mL (10% de juazeiro - 0,1 g/mL), 60g/300mL (20% de juazeiro - 0,2 g/mL) e 90g/300mL (30% de juazeiro - 0,3 g/mL).

Posteriormente, o suco obtido foi batido em uma batedeira comum Planetária Deluxe SX80 da Arno, a fim de produzir espuma. Os tempos de agitação foram de 3, 4 e 5 minutos. Todos os valores preliminares foram definidos por VASCONCELOS (2017).

4.2.3 Caracterização da espuma

Para caracterização da espuma do juazeiro, foram realizadas três análises: densidade e percentual de expansão, capacidade de incorporação de ar e avaliação da estabilidade da espuma. Todos os testes descritos foram realizados em duplicata.

Densidade

A densidade da espuma foi determinada através da medição da massa e do volume da mesma. Os dados foram obtidos, preenchendo provetas de 100 mL com espuma (Figura 8) com posterior pesagem da mesma. O valor da densidade é obtido utilizando a Equação 1:

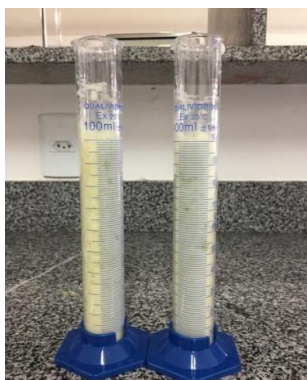
$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

onde: ρ = densidade ; —

m = massa (g) ;

V = volume (mL);

Figura 8 - Determinação da

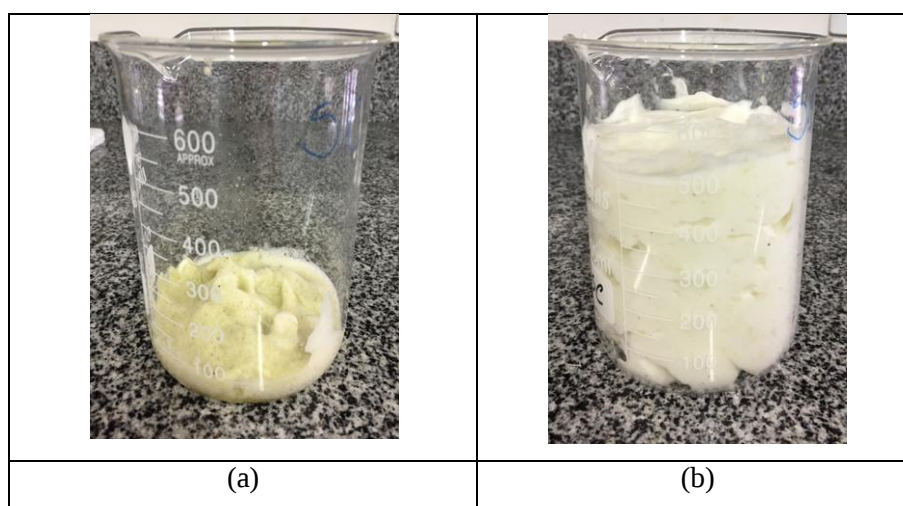


densidade da espuma.

Incorporação de ar (*over run*)

Para determinação do *over run*, foi avaliado o volume do suco de juazeiro em um béquer antes e depois da batadura (Figura 9). Uma vez que, o volume de ar introduzido em uma solução está diretamente relacionado com a capacidade e incorporação de ar, e essa capacidade pode ser determinada pelo volume de espuma formado. Para isso, 100 mL do suco preparado para cada concentração, foi batido pelos tempos pré-determinados do planejamento fatorial, e a expansão foi observada.

Figura 9 – Volume do suco do juazeiro (a) antes da agitação e (b) após agitação



Para o cálculo da porcentagem foi utilizada a Equação 2:

(2)

Avaliação da estabilidade da espuma

A estabilidade da espuma foi avaliada segundo o método citado em Karin e Chee-wai (1999). Foram depositados 100mL da espuma em um funil com filtro de nylon em uma proveta graduada de 25 mL (Figura 10), mantidas nas temperaturas de secagem do experimento (50°C, 60°C e 70°C) de acordo com o planejamento experimental, em uma estufa de circulação de ar por 90 minutos ou até que fosse atingido um volume drenado constante.

As análises foram realizadas em triplicata, sendo o volume drenado medido durante esse intervalo de tempo, conforme a espuma era drenada.

O método é baseado no princípio de que a estabilidade da espuma é inversamente proporcional ao volume do líquido drenado na proveta. À medida que a espuma era desfeita, o volume drenado era medido em intervalos de 10 minutos.

Figura 10 - Sistema utilizado para a avaliação da estabilidade da espuma.



4.2.4 Cinéticas de secagem em camada de espuma

De acordo com o planejamento experimental fatorial completo (Tabela 2), a espuma obtida foi transferida para uma bandeja de alumínio, previamente pesada com o auxílio de uma balança semi analítica; sendo mantida constante a espessura de 0,5 cm em todos os experimentos realizados, e em seguida a bandeja foi colocada em uma estufa de circulação de ar (Figura 11).

Segundo Keey (1992) apud DANTAS (2010), dois métodos podem ser utilizados para determinação das curvas de secagem, sendo o primeiro, o monitoramento da perda de umidade do material mediante pesagem direta; e o segundo método pelo monitoramento da umidade do gás de secagem, na entrada e saída do secador. No presente trabalho foi utilizado o primeiro método.

A bandeja contendo a espuma foi pesada em intervalos de tempos: nos primeiros 30 minutos, a bandeja foi pesada de 5 em 5 minutos, em seguida de 10 em 10 minutos, e a medida que a variação do valor obtido após a pesagem diminuía, o intervalo entre uma pesagem e outra aumentava, até atingir um peso constante. Ao final da secagem, foi obtido pó que foi removido das bandejas com o auxílio de espátulas, e transferido e armazenado em embalagens de polietileno.

Figura 11 - Bandejas na estufa de circulação de ar.



5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização da espuma

Devido à capacidade do juazeiro de produzir espuma quando submetido a agitação, não foi necessária a adição de nenhum agente espumante.

5.1.1 Densidade da espuma

Os resultados para a densidade da espuma são mostrados na Tabela 3.

Tabela 3 - Valores da densidade das espumas

Experimentos	Condições	Densidade (g/mL)
1	$t_{ag} = 5 \text{ min}; C = 0,3 \text{ g/mL}$	0,0917
2	$t_{ag} = 5 \text{ min}; C = 0,1 \text{ g/mL}$	0,0879
3	$t_{ag} = 3 \text{ min}; C = 0,3 \text{ g/mL}$	0,0769
4	$t_{ag} = 3 \text{ min}; C = 0,1 \text{ g/mL}$	0,0767
5	$t_{ag} = 4 \text{ min}; C = 0,2 \text{ g/mL}$	0,0767

t_{ag} - tempos de agitação; C - concentração

Foi possível observar através dos resultados mostrados na Tabela 3, que as densidades da espuma diminuem tanto com a concentração de juazeiro quanto com tempo de agitação. Sendo o maior valor obtido com a maior concentração de juazeiro e maior tempo de agitação, e o menor valor obtido para a menor concentração de juazeiro e menor tempo de agitação.

Sá (2017) realizou um estudo sobre a secagem em camada de espuma do noni (*Morinda citrifolia* Linn), utilizando a albumina como agente espumante, uma vez que o noni não possui capacidade de produzir espuma. Foram obtidos valores para a densidade na faixa de 0,7032 a 0,5000 g/mL. Simões (2017) na secagem em camada de espuma do mastruz (*Chenopodium ambrosioides* L.), utilizou o emustab[®] como a gente espumante, pois o mastruz também não possui capacidade de produzir espuma. Foram obtidos valores entre 0,3544 e 0,2028 g/mL para diferentes concentrações do agente espumante.

Vasconcelos (2017) em seu estudo sobre definição de parâmetros para a secagem em camada de espuma do juazeiro obteve valores de densidade compreendidos entre 0,0956 e 0,0829 g/mL, valores semelhantes aos obtidos nesse trabalho.

5.1.2 Estabilidade da espuma

Nas Figuras 12 e 13 são mostradas as curvas de estabilidade das espumas da entrecasca do juazeiro nas temperaturas mínimas e máximas do planejamento experimental fatorial completo. Segundo Dantas (2010), a estabilidade é determinada pelo inverso do volume drenado, ou seja, quanto menor o volume desprendido da espuma, mais estável ela será, e consequentemente, melhores serão os resultados obtidos no processo de secagem.

Figura 12 - Estabilidade da espuma para a temperatura de 50°C nas condições: Exp. 1 ($t_{ag} = 3$ min e $C = 0,1$ g/mL); Exp.2 ($t_{ag} = 5$ min e $C = 0,1$ g/mL); Exp. 3 ($t_{ag} = 3$ min e $C = 0,3$ g/mL) e Exp. 4 ($t_{ag} = 5$ min e $C = 0,3$ g/mL).

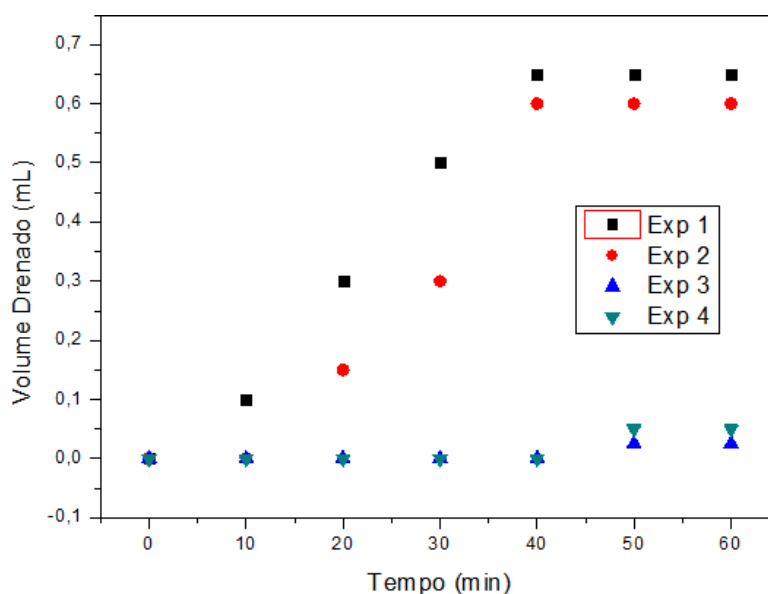
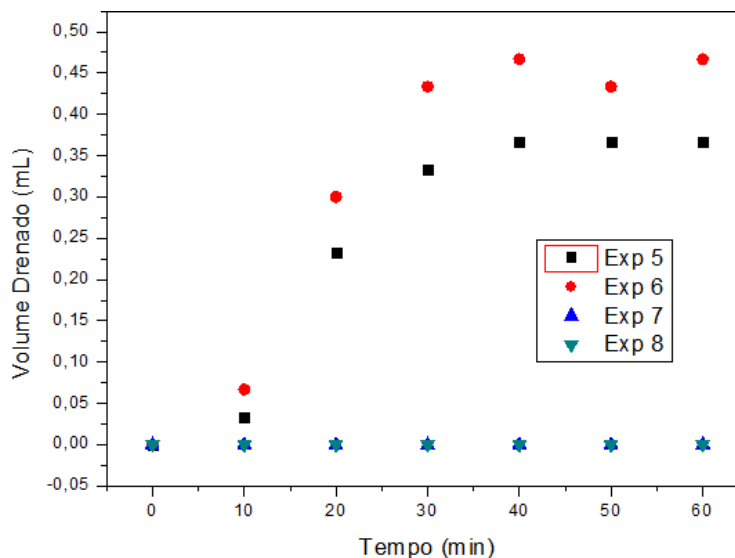


Figura 13 - Estabilidade da espuma para a temperatura de 70°C nas condições: Exp. 5 ($t_{ag} = 3$ min e $C = 0,1$ g/mL); Exp. 6 ($t_{ag} = 5$ min e $C = 0,1$ g/mL); Exp. 7 ($t_{ag} = 3$ min e

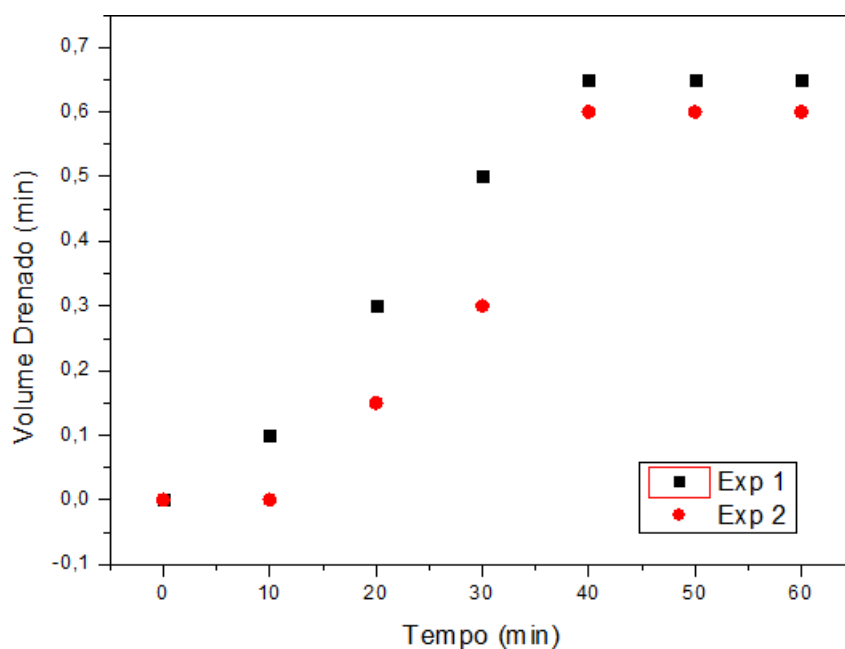
$C = 0,3 \text{ g/mL}$) e Exp. 8 ($t_{ag} = 5 \text{ min}$ e $C = 0,3 \text{ g/mL}$).



Analisando as Figura 12 e 13, foi possível notar que para as duas temperaturas analisadas, as condições com a maior concentração de juazeiro, tiveram os menores valores de volume drenado, para 50 °C os experimentos 3 e 4, e para 70 °C os experimentos 7 e 8. Com relação à temperatura, observou-se que para a temperatura de 70 °C os volumes drenados foram menores, sendo que para os experimentos 7 e 8, cuja concentração de juazeiro é maior, nenhum volume drenado foi observado, ou seja, para maiores temperaturas e maior concentração de juazeiro a espuma torna-se mais estável.

A influência do tempo de agitação na estabilidade da espuma foi avaliada mantendo-se constante a temperatura e concentração (Figura 14).

Figura 14 - Estabilidade da espuma para a temperatura de 50°C nas condições: Exp. 1 ($t_{ag} = 3 \text{ min}$ e $C = 0,1 \text{ g/mL}$) e Exp. 2 ($t_{ag} = 5 \text{ min}$ e $C = 0,1 \text{ g/mL}$).



É possível observar que para o menor tempo de agitação um maior volume de líquido foi drenado, ou seja, a espuma possui uma menor estabilidade. Isto pode ser explicado pelo fato de que o tempo de agitação influencia diretamente na introdução de ar no sistema, e quanto mais for à quantidade de ar no material, maior será a estabilidade da espuma.

5.2 Secagem em camada de espuma

As variáveis dependentes do planejamento experimental fatorial foram: tempo final de secagem e a umidade final do material X/X_0 , mostrados na Tabela 4.

Tabela 4 - Resultados da secagem em camada de espuma do juazeiro

Nº de Experimentos	Variáveis independentes			Variáveis dependentes	
	t_{ag} (min)	C (g/ml)	T (°C)	Tempo (min)	X/X_0
1	3 (-1)	0,1 (-1)	50 (-1)	230	0,036
2	5 (1)	0,1 (-1)	50 (-1)	190	0,120
3	3 (-1)	0,3 (1)	50 (-1)	250	0,020
4	5 (1)	0,3 (1)	50 (-1)	230	0,085
5	3 (-1)	0,1 (-1)	70 (1)	170	0,122
6	5 (1)	0,1 (-1)	70 (1)	200	0,124

7	3 (-1)	0,3 (1)	70 (1)	180	0,022
8	5 (1)	0,3 (1)	70 (1)	180	0,032
9	4 (0)	0,2 (0)	60 (0)	220	0,057
10	4 (0)	0,2 (0)	60 (0)	200	0,045
11	4 (0)	0,2 (0)	60 (0)	200	0,060

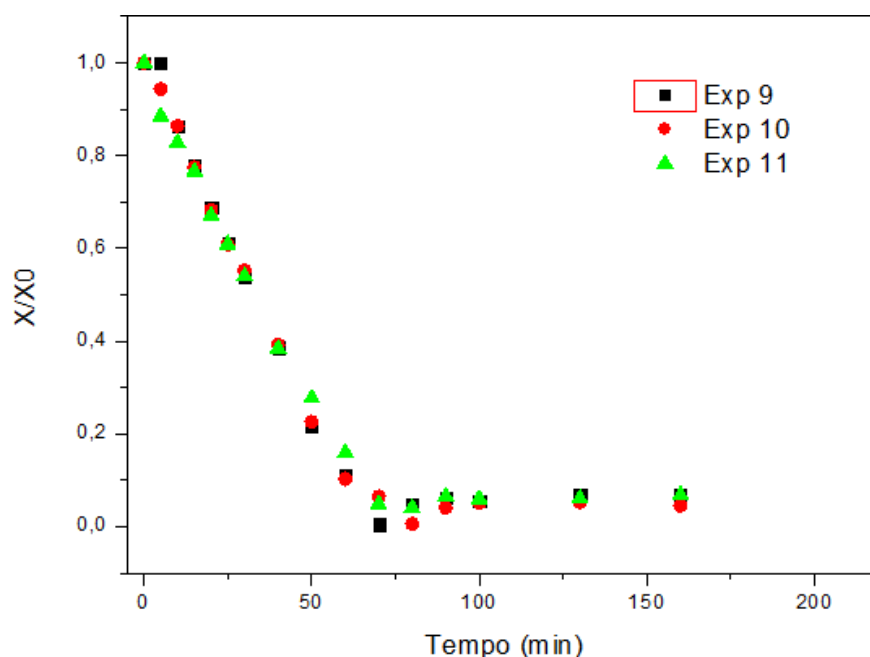
Analisando os resultados obtidos na Tabela 4, observou-se que os menores tempos de secagem foram obtidos nos experimentos 5, 7 e 8, o que reflete a influência direta da temperatura na secagem em camada de espuma, uma vez que a temperatura utilizada nesses experimentos foi de 70°C. Nota-se ainda que, para os experimentos realizados a 50°C foram obtidos os maiores tempos de secagem em relação às outras temperaturas.

5.2.1 Análise da cinética de secagem

Com o objetivo de analisar a influência das variáveis na cinética de secagem da entrecasca do juazeiro em camada de espuma, foi realizada uma comparação entre pares de experimentos, sempre mantendo duas variáveis constantes e variando a terceira.

Na Figura 15 são apresentadas as curvas da cinética de secagem da entrecasca do juazeiro nas condições do ponto central (experimentos 9, 10 e 11) do planejamento experimental fatorial completo, com o intuito de acompanhar a reprodutibilidade da cinética de secagem da entrecasca do juazeiro.

Figura 15 - Curvas da cinética da secagem das espumas da entrecasca do juazeiro nos pontos centrais do planejamento fatorial completo nas condições: Exp. 9, 10 e 11 ($T = 60^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{ag}} = 4$ min e $C = 0,2$ g/mL).



As curvas apresentadas na Figura 15 são características de curvas de secagem e apresentam os dois períodos de secagem: até aproximadamente 55 minutos tem-se o período de taxa constante e a partir desse ponto, o período de taxa decrescente.

Analisando as curvas da Figura 15 foi possível observar que existe boa reprodutibilidade da secagem no ponto central, que corresponde ao nível zero no planejamento fatorial mostrado na Tabela 2.

A influência da temperatura foi analisada mantendo constante o tempo de agitação e a concentração de juazeiro na espuma, para cada experimento comparados: Experimentos 1 e 5 (Figura 16); Experimentos 2 e 6 (Figura 17); Experimentos 3 e 7 (Figura 18) e Experimentos 4 e 8 (Figura 19).

Figura 16 - Curvas de secagem nas condições: Exp. 1 ($T = 50^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{ag}} = 3 \text{ min}$, $C = 0,1 \text{ g/mL}$) e Exp. 5 ($T = 70^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{ag}} = 3 \text{ min}$, $C = 0,1 \text{ g/mL}$)

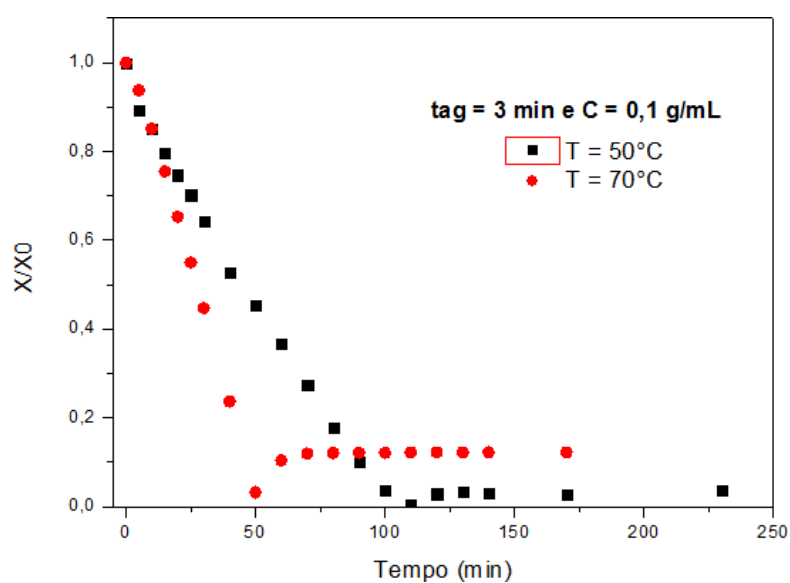


Figura 17 - Curvas de secagem nas condições: Exp. 2 ($T = 50^\circ\text{C}$, $t_{ag} = 5 \text{ min}$, $C = 0,1 \text{ g/mL}$) e Exp. 6 ($T = 70^\circ\text{C}$, $t_{ag} = 5 \text{ min}$, $C = 0,1 \text{ g/mL}$).

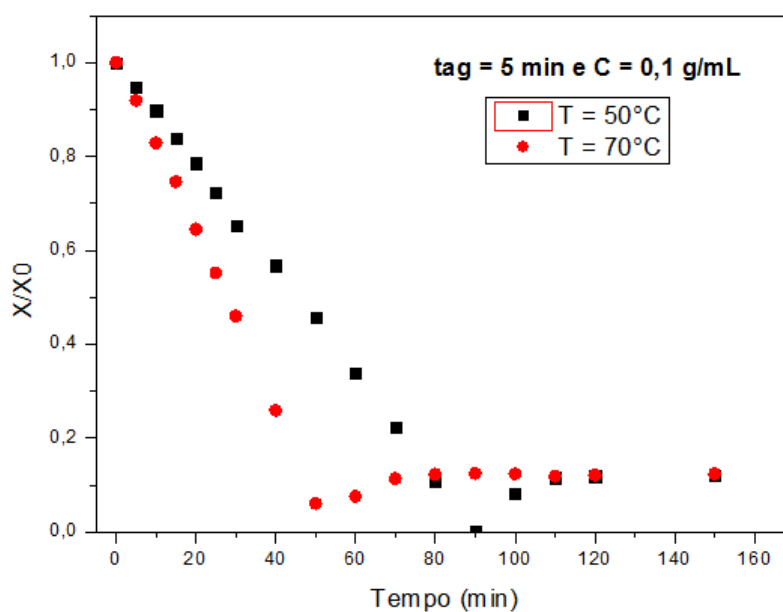


Figura 18 - Curvas de secagem nas condições: Exp. 3 ($T = 50^\circ\text{C}$, $t_{ag} = 3 \text{ min}$, $C = 0,3 \text{ g/mL}$) e Exp. 7 ($T = 70^\circ\text{C}$, $t_{ag} = 3 \text{ min}$, $C = 0,3 \text{ g/mL}$).

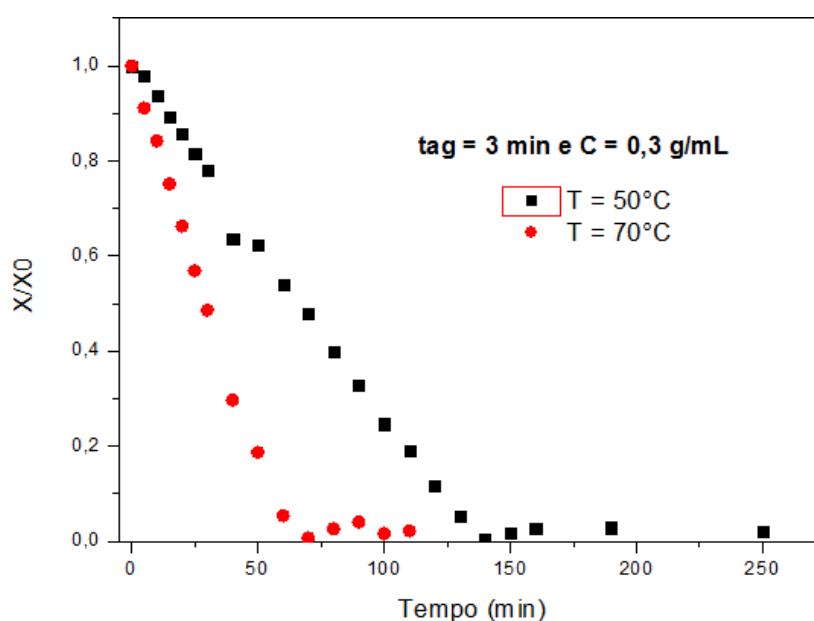
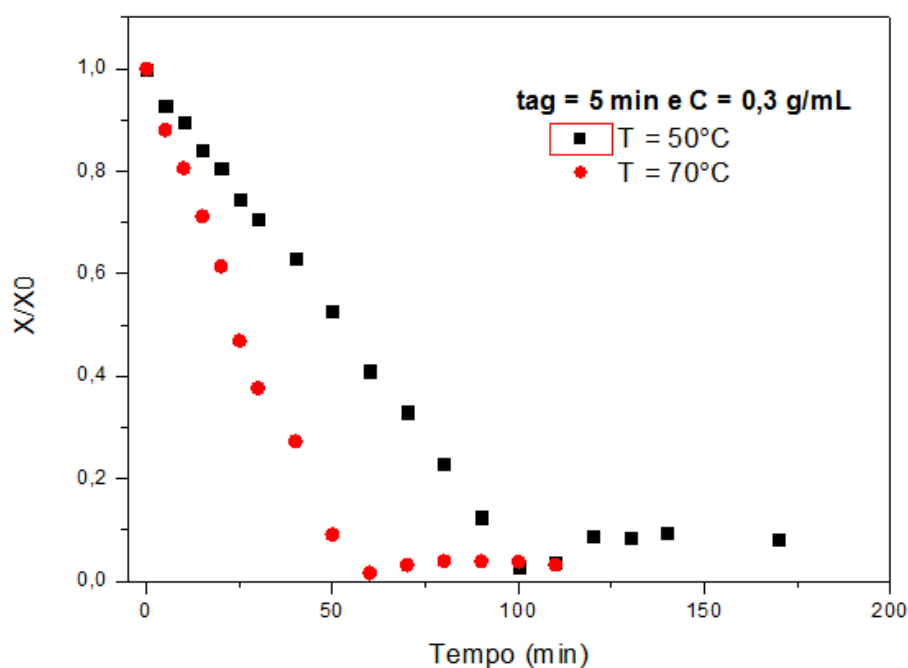


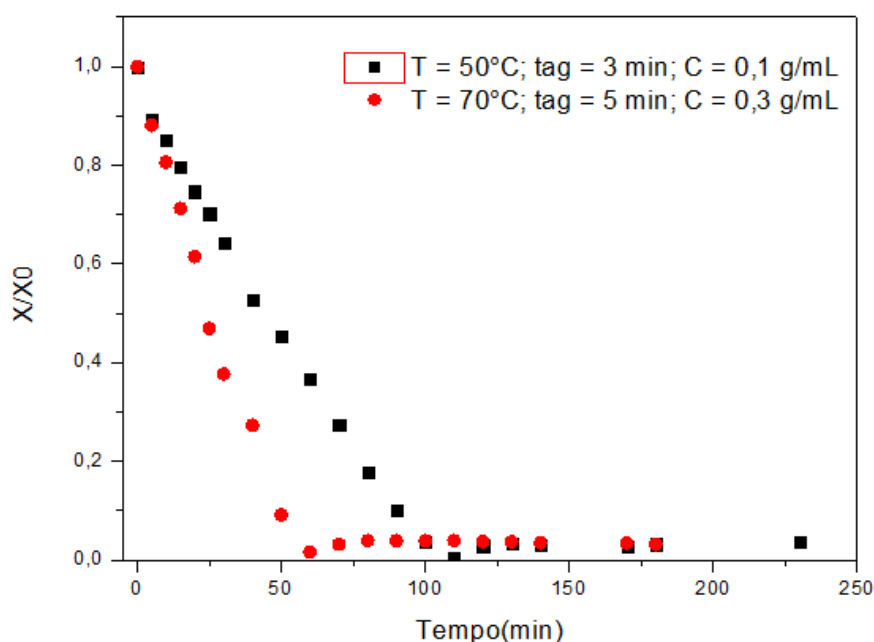
Figura 19 - Curvas de secagem nas condições: Exp. 4 ($T = 50^\circ\text{C}$, $t_{\text{ag}} = 5 \text{ min}$, $C = 0,3 \text{ g/mL}$) e Exp. 8 ($T = 70^\circ\text{C}$, $t_{\text{ag}} = 5 \text{ min}$, $C = 0,3 \text{ g/mL}$).



Analisando as curvas das Figuras 16 a 19, constatou-se que a temperatura tem influencia física significativa no comportamento das curvas de cinética de secagem. A temperatura atua de maneira direta na evaporação da água contida no material, ou seja, para maiores temperaturas maior será a velocidade de secagem e, conseqüentemente, menor será o tempo requerido para a secagem. Na Figura 20 observou-se que o tempo de secagem na temperatura de 50°C foi de 230 minutos enquanto que para 70°C foi de 170 minutos.

Na Figura 20 são mostradas as curvas de cinética de secagem da entrecasca do juazeiro obtidas nos pontos extremos (fatoriais mínimos e máximos) do planejamento experimental fatorial completo.

Figura 20 - Curvas de secagem nas condições: Exp. 1 ($T = 50^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{ag}} = 3 \text{ min}$, $C = 0,3 \text{ g/mL}$) e Exp. 8 ($T = 70^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{ag}} = 5 \text{ min}$, $C = 0,3 \text{ g/mL}$).



Na Figura 20 foi possível observar que para a espuma da entrecasca do juazeiro atingir uma massa constante, nas condições do Experimento 1, foram necessários 230 minutos, enquanto que nas condições do Experimento 8 foram necessários 170 minutos, comprovando assim a influência da temperatura na cinética de secagem.

A influência da concentração de juazeiro na espuma foi observada, mantendo constante a temperatura de secagem e o tempo de agitação para cada par de experimentos comparados: Experimentos 1 e 3 (Figura 21); Experimentos 5 e 7 (Figura 22); Experimentos 2 e 4 (Figura 23) e Experimentos 6 e 8 (Figura 24).

Figura 21 - Curvas de secagem nas condições: Exp. 1 ($T = 50^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{ag}} = 3 \text{ min}$, $C = 0,1 \text{ g/mL}$) e Exp. 3 ($T = 50^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{ag}} = 3 \text{ min}$, $C = 0,3 \text{ g/mL}$).

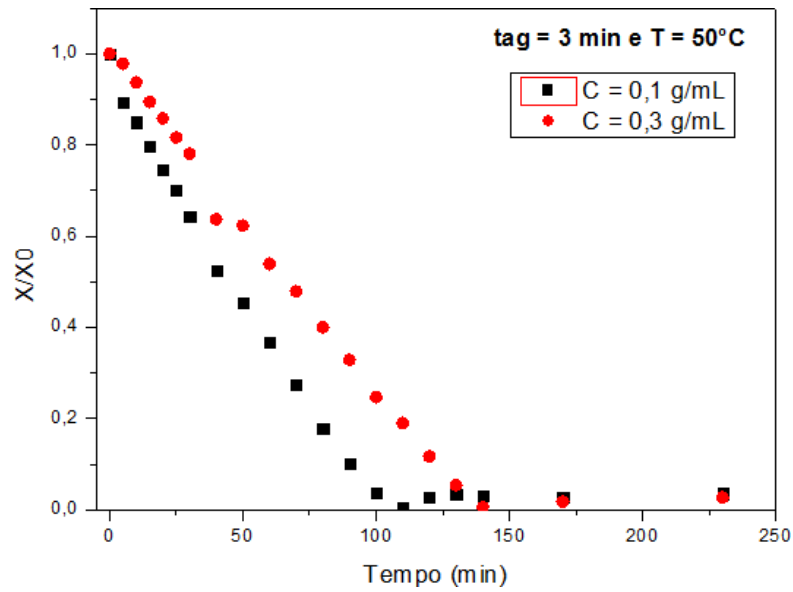


Figura 22 - Curvas de secagem nas condições: Exp. 5 ($T = 70^{\circ}\text{C}$, $t_{ag} = 3 \text{ min}$, $C = 0,1 \text{ g/mL}$) e Exp. 7 ($T = 70^{\circ}\text{C}$, $t_{ag} = 3 \text{ min}$, $C = 0,3 \text{ g/mL}$).

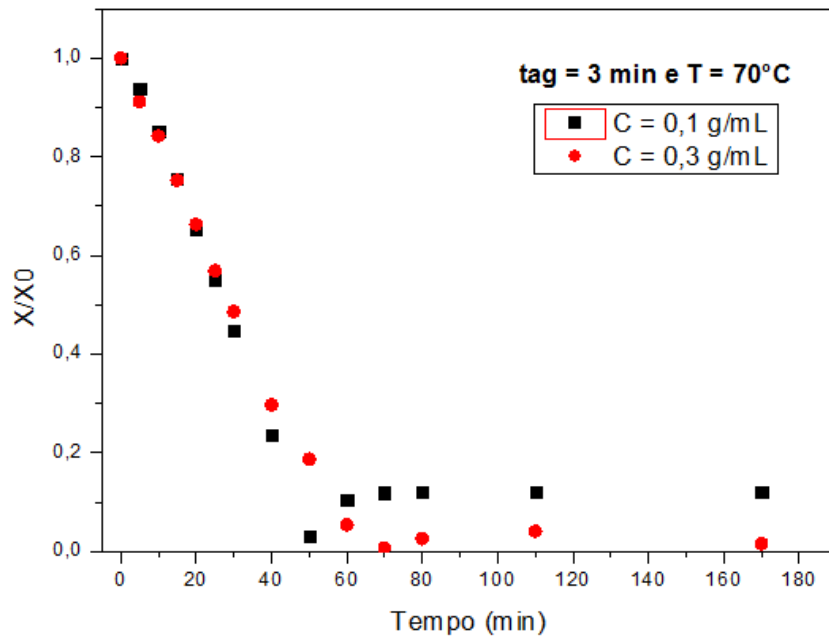


Figura 23 - Curvas de secagem nas condições: Exp. 2 ($T = 50^{\circ}\text{C}$, $t_{ag} = 5 \text{ min}$, $C = 0,1 \text{ g/mL}$) e Exp. 4 ($T = 50^{\circ}\text{C}$, $t_{ag} = 5 \text{ min}$, $C = 0,3 \text{ g/mL}$).

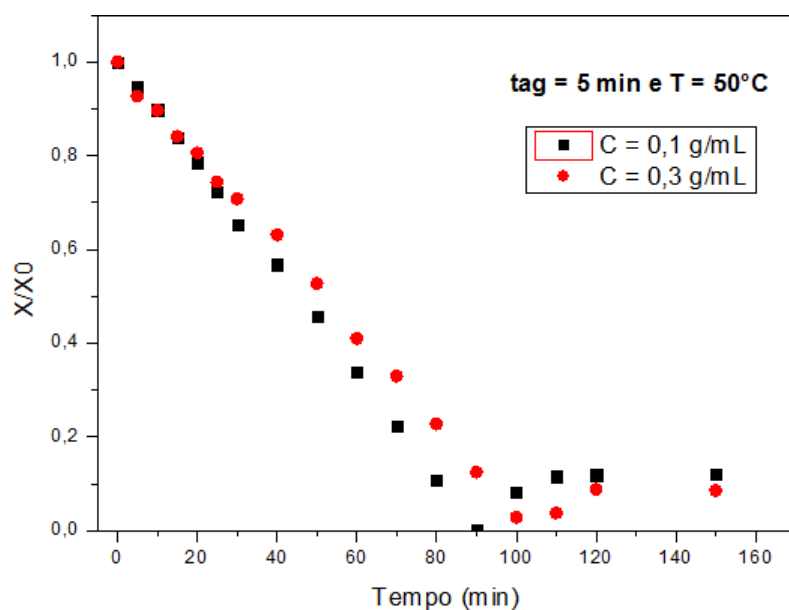
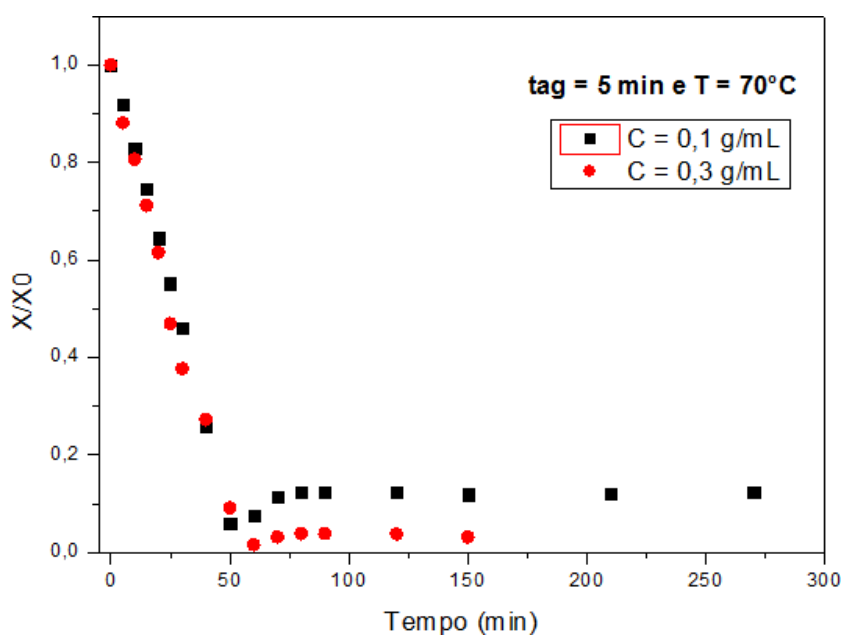


Figura 24 - Curvas de secagem nas condições: Exp. 6 ($T = 70^{\circ}\text{C}$, $t_{ag} = 5 \text{ min}$, $C = 0,1 \text{ g/mL}$) e Exp. 8 ($T = 70^{\circ}\text{C}$, $t_{ag} = 5 \text{ min}$, $C = 0,3 \text{ g/mL}$).



Pelas Figuras 21 a 24 foi possível observar que as curvas de cinéticas não foram influenciadas diretamente pela concentração de juazeiro, uma vez que os pares comparados apresentaram comportamentos semelhantes quanto à perda de umidade com o tempo.

Para analisar a influência do tempo de agitação, manteve-se constante a temperatura e a concentração de juazeiro, sendo comparados: Experimentos 1 e 2 (Figura 25); Experimentos 5 e 6 (Figura 26); Experimentos 3 e 4 (Figura 27) e Experimentos (Figura 28).

Figura 25 - Curvas de secagem nas condições: Exp. 1 ($T = 50^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{ag}} = 3 \text{ min}$, $C = 0,1 \text{ g/mL}$) e Exp. 2 ($T = 50^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{ag}} = 5 \text{ min}$, $C = 0,1 \text{ g/mL}$).

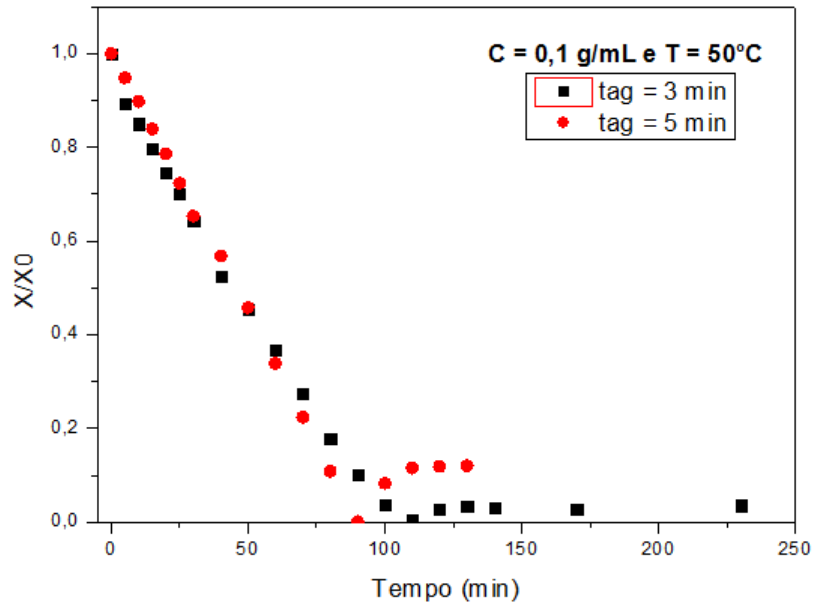


Figura 26 - Curvas de secagem nas condições: Exp. 5 ($T = 70^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{ag}} = 3 \text{ min}$, $C = 0,1 \text{ g/mL}$) e Exp. 6 ($T = 70^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{ag}} = 5 \text{ min}$, $C = 0,1 \text{ g/mL}$).

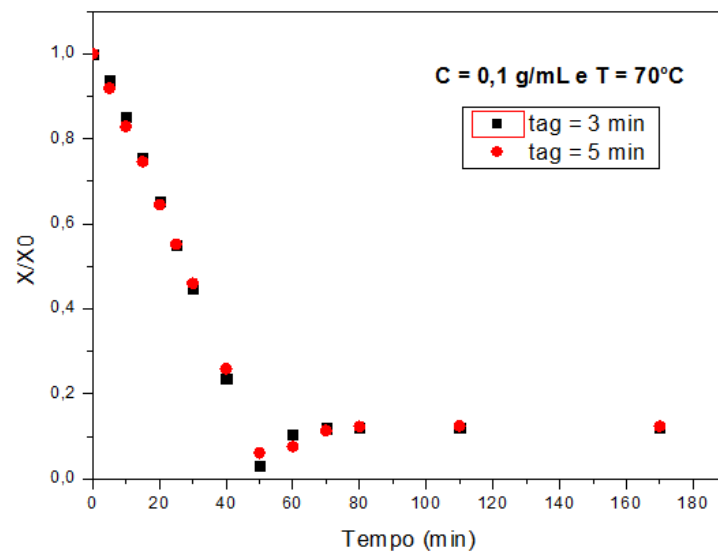


Figura 27 - Curvas de secagem nas condições: Exp. 3 ($T = 50^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{ag}} = 3 \text{ min}$, $C = 0,3 \text{ g/mL}$) e Exp. 4 ($T = 50^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{ag}} = 5 \text{ min}$, $C = 0,3 \text{ g/mL}$).

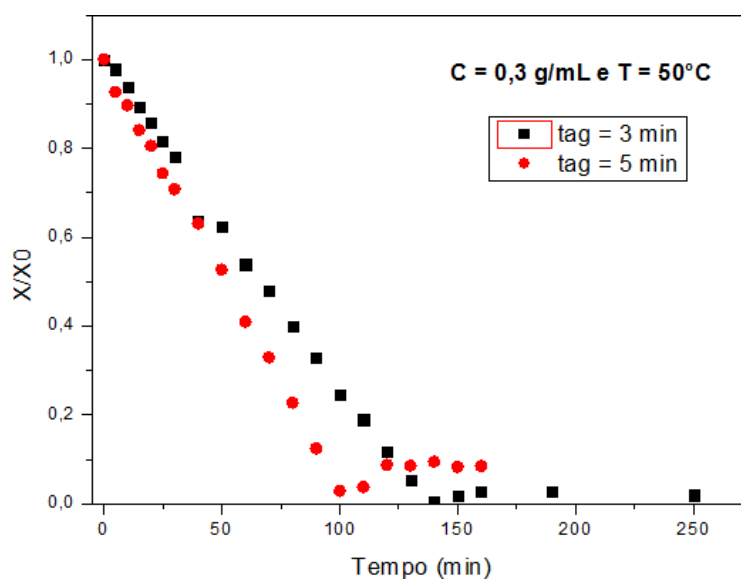
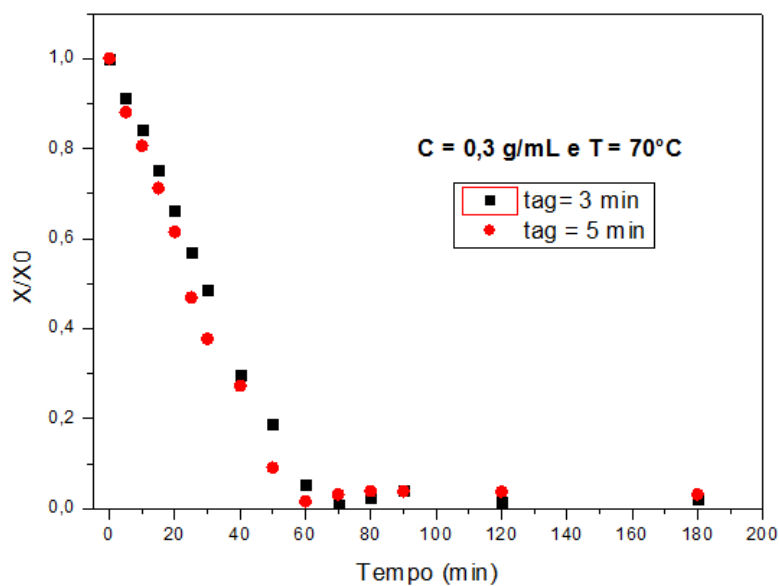


Figura 28 - Curvas de secagem nas condições: Exp. 7 ($T = 70^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{ag}} = 3 \text{ min}$, $C = 0,3 \text{ g/mL}$) e Exp. 8 ($T = 70^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{ag}} = 5 \text{ min}$, $C = 0,3 \text{ g/mL}$).



Foi observado que as curvas de cinética de secagem apresentaram respostas semelhantes para os diferentes tempos de agitação, mostrando que essa variável não tem influencia física significativa na secagem. Nos gráficos das Figuras 25 e 29, cuja a temperatura de secagem foi a menor, 50°C , observou-se uma pequena diferença no tempo de secagem, tendo os experimentos realizados com tempo de agitação de 5 minutos secado mais rapidamente do que os realizados com 3 minutos de agitação.

O que pode ser explicado pelo fato de que para maiores tempos de agitação a espuma se torna mais aerada, o que facilita a transferência de água para a superfície, aumentando assim a velocidade de secagem.

O pó obtido a partir da secagem em camada de espuma pode ser observado na Figura 29 e 30. De modo geral, os pós obtidos nos onze experimentos do planejamento experimental fatorial apresentam características semelhantes, e homogeneidade em sua granulometria. Não foi observado nenhuma mudança na coloração e na textura com o processo de secagem após o acondicionamento.

Figura 29 - Pó obtido após a secagem

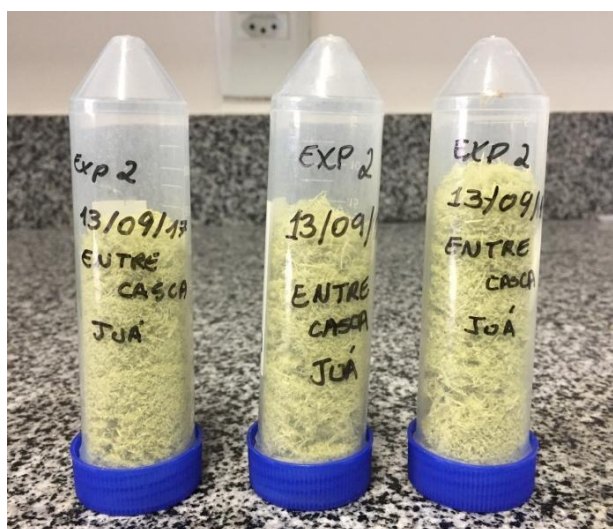


Figura 30 - Pó armazenado após a secagem



Foi realizado o pedido de depósito de patente para a obtenção do pó do juazeiro, cujo o número é BR 10 2017 023344 8, e intitulada: Obtenção do pó da entrecasca do Juazeiro (*Ziziphus Joazeiro*) através da secagem em camada de espuma.

O pó das raspas da entrecasca do juazeiro está sendo utilizado como agente espumante em alguns projetos de pesquisa do Grupo de Pesquisa de Secagem, entre eles, secagem em camada de espuma da romã e secagem em camada de espuma da babosa (*Aloe Vera*).

6. CONCLUSÕES

De maneira geral, foi possível concluir:

Quanto à caracterização da espuma obtida:

- densidade da espuma diminui com a concentração de juazeiro assim como com o tempo de agitação, sendo os valores obtidos dentro do esperado.
- estabilidade da espuma, a espuma se apresenta mais estável para maiores temperaturas de secagem e maiores concentrações de juazeiro
- espuma menos estável para menor tempo de agitação

Quanto à cinética de secagem:

- a temperatura de secagem é a variável que tem influencia física mais significativa no processo de secagem;
- tempo de agitação e concentração de juazeiro na espuma tem pouca influência no processo de secagem;
- boa reprodutibilidade do processo de secagem em camada de espuma.
- As curvas de secagem apresentam os dois períodos de secagem, de taxas constante e decrescente, sendo o mais proeminente o período de taxa constante.

De maneira geral, a secagem em camada de espuma mostrou-se um método satisfatório e viável para a obtenção da entrecasca do juazeiro em pó.

REFERÊNCIAS

AGRA, M. F. **Plantas da medicina popular dos Cariris Velhos**, 1996.

BAG, S. K., SRIVASTAV, P. P., MISHRA, H. N. Optimization of process parameters for foaming of Bael (*Aegle marmelos* L.) fruit pulp. **Food and Bioprocess Technology**, v.4, n.8, p.1450-1458, 2011.

BALCH, James F., **Tratamentos naturais: um guia completo para tratar problemas**
BARROS, J. F. P. **A floresta sagrada de Ossaim: O segredo das folhas** - Pallas Editora, 2015.

BILL, L. C. O juazeiro: verde em plena seca, 2015. **Disponível em**
<<http://www.focadoemvoce.com/noticias/o-juazeiro-verde-em-plena-seca/>> Acessado em 04/06/2018.

BRASIL - Ministério da Saúde. Central de Medicamentos. *Mikania glomerata*. In: BRASIL. Ministerio da Saude. **Programa de Pesquisa de Plantas Medicinais: primeiros resultados**. Brasília, 1989.

CELESTINO, S. M. **Princípios de Secagem de Alimentos**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Planaltina, DF: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2010.

CÉZAR, G. *Curiosidades da nossa flora*. 1ª Ed. Ed. Imprensa Oficial, 1956.

CICHEWICZ, R. H., SAMIR A. K. **Chemistry, Biological Activity, and Chemotherapeutic Potential os Betulinic Acid for the Prevention and Treatment of Cancer and HIV Infection**. *Medicinal Research Reviews*, 24 90-114, 2004.

CRUZ, M.C.S.; SANTOS, P.O.; BARBOSA, A.M.; MELO, D.L.F.M.; ALVIANO, C.S.; ANTONIOLLI, A.R.; ALVIANO, D.S. & TRINDADE, R.C. **Antifungal activity of Brazilian medicinal plants involved in popular treatment of mycoses**. *Journal of Ethnopharmacology* 111: 409-412, 2007.

CSUK, R., **Betulinic acid and its derivatives: a patent review (2008-2013)**, *Expert opinion on therapeutic patents*, 24 913–23, 2014.

CSUK, R., KIANGA S., RENATE, S., **A practical synthesis of betulinic acid**, *Tetrahedron Letters*, 47 8769–70, 2006.

DANTAS, S. C. M. **Desidratação de polpas de frutas pelo método *foam-mat***. 100f. Natal. Dissertação (Mestrado em 2010). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2010.

DELMIRO, M. T. **Secagem da cenoura (*Daucus Carota* L.) pelo método *foam-mat***. 100f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Química), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2016.

FALADE, K. O., OKOCHA, J. O. Foam-mat drying of plantain and cooking banana (*Musa spp.*). **Food and Bioprocess Technology**, v.5, n.4, p.1173-1180, 2012.

FOUST, A. S.; WENZEL, L. A.; CLUMO, C. W.; MAUS, L.; ANDERSEN, L. B. **Princípios das Operações Unitárias**. Rio de Janeiro, Guanabara Dois, 1982.

FRANCIS, G. ; KEREM, Z. ; MAKKAR, H. P. S. ; BECKER, K. **The biological action of saponins in animal systems: a review**. *Br. J. Nutr.*, 88: 587-605, 2002.

Índice terapêutico fitoterápico: ITF. Petrópolis: EPUB, 2008

KEEY, R. B. **Drying: principles and practice**. Oxford: Pergamon Press, p. 358. (International Series of Monographs in Chemical Engineering), 1975.

KEEY, R.B. **Drying of loose and particulate materials**. New York: Hemisphere, 1992.
KRASAEKOOPT, W.; BHATIA, S. Production of yogurt powder using foam-mat drying. **AU Journal of Technology**, v.15, n.3, p.166-171, 2012.

LIMA, A. **Índice terapêutico fitoterápico**: ITF. Petrópolis: EPUB, 2008.

LIMA, D. A. **Planta da caatinga: Avaliação da atividade de extratos de folhas de *momordica charantia*, *auxemma oncocalyx* e *ziziphus joazeiro* sobre bactérias e larvas *culex quinquefasciatus***. 65 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal). Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, 2008.

LIMA, P. R. **O aproveitamento do resíduo da indústria do sisal no controle de larvas de mosquitos**. *Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical*, Rio de Janeiro, v.32, n.1, p. 23-29, 1999.

LORENZI, H.; MATOS, F. J. A. **Plantas medicinais no Brasil: nativas e exóticas**. São Paulo: Instituto Plantarum de Estudos da Flora LTDA., 2002.

MONIZ-BRITO K. L.; AYALA-OSUÑA, J. T. **Influência de diferentes substratos na germinação de sementes de *Ziziphus joazeiro* Mart., Rhamnaceae**. *Sitientibus Série Ciências Biológicas*, v.5, n.2, p.63-67, 2005.

MONIZ-BRITO, K. L.; OSUNA, J. T. A. Influência dos tratamentos físicos e químicos na germinação de *ZIZIPHUS JOAZEIRO MART. (RHAMNACEAE)*. **Magistra**, v.20, n.1, p. 16-21, 2002.

NEPA. **Tabela Brasileira de Composição dos Alimentos (TACO)**, versão 4. Campinas: UNICAMP, 105p. 2011.

PAN, S., ZHOU, S., GAO, S., YU, Z., ZHANG, S., TANG, M.. New Perspectives on How to Discover Drugs from Herbal Medicines: CAM's Outstanding Contribution to Modern Therapeutics. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 25 pages. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1155/2013/627375>. Article ID 627375, 2013.

PARK, K. J.; ANTONIO, G. C.; OLIVEIRA, R. A.; PARK, K. J. B. Conceitos de processo e equipamentos de secagem. 121p. 2007. Disponível em:

<<https://www.passeidireto.com/arquivo/38053915/art16112>>. Acesso em: 19 de maio de 2018.

PIZARRO, A. P. B.; FILHO, A. M. O.; PARENTE, J. P.; MELO, M. T. V.; SANTOS, C. E. ; LIMA, P. R. **O aproveitamento do resíduo da indústria do sisal no controle de larvas de mosquitos**. Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical, Rio de Janeiro, v.32, n.1, p. 23-29, 1999.

PLETI, A. K. **Caracterização química e vida de prateleira do ovo de avestruz**. 64 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos). Universidade Federal do Paraná - UFPR, 2008.

RATES, S. M. **Plants as source of drugs**. Toxicon, v. 39, p. 603–613, 2001.

REIS, G. S. A cura pelos chás, Blog Informativo, 2013. Disponível em: <https://cha.blog.br/saiba-tudo-sobre-programa-cura-pelos-chas/>. Acesso em: 19 de Maio de 2018.

SÁ, Y. P. **Estudo da cinética de secagem do noni (*morinda citifolia* Linn) em camada de espuma**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Química). Universidade Federal da Paraíba, 2017.

SANKAT, C. K.; CASTAIGNE, F. **Foaming and drying behaviour of ripe bananas**. Lebensm.-Wiss. u.-Technol, v. 37, p. 517-525, 2004.

SCHENKEL, E. P.; GOSMANN, G.; PETROVICK, P. R. **Produtos de origem vegetal e o desenvolvimento de medicamentos**. Farmacognosia: da planta ao medicamento. Editora da Universidade UFRGS, p 301-332, 2001.

SHAANXI NHK. **NHK Health for life**. Disponível em: < <http://pt.gmp-factory.com/herbal-medicine/liver-protection/oleanic-acid-oleanolic-acid.html>> Acesso em 17 de Maio de 2018.

SILVA, J. B.; ARAÚJO, M. D.; SILVA, T. R. C.; BARBOSA, I. M.; MOURA, M. F. V.; CASTRO, H. G. C. **Acidificação do fruto do juazeiro (*Ziziphus joazeiro* Mart.) por fermentação láctica espontânea sob a influência de cloreto de sódio, cálcio e potássio**. 53º Congresso Brasileiro de Química, Rio de Janeiro, Outubro de 2014.

SIMÕES, T. B. **Definição de parâmetros para a secagem em camada de espuma (*foam-mat drying*) das folhas do Mastruz (*Chenopodium ambrosioides* L.)**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Química). Universidade Federal da Paraíba, 2017.

SOUSA, F. C. **Obtenção de extratos líquidos de juazeiro e mororó para fins industriais**. 100 f. Campina Grande. Dissertação (Mestrado em XXX). Universidade Federal de Campina Grande, 2013.

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

TRAVAGLINI, D. A.; NETO, M. P.; BLEINROTH, E. W.; LEITÃO, M. F. F. **Banana passa: princípios de secagem, conservação e produção industrial**. Campinas: ITAL, 73p, 1993.

UNIQUEIM. **Instituto de Química.** 2015. Disponível em: <<https://uniquim.iquimica.unam.mx/compuesto-item/acido-betulinico-1196>> Acesso em 17 de Maio de 2018.

VAN ARSDEL, W. B.; COPLEY M. J. **Food Dehydration.** Westport, Connecticut: The Avi Publishing Company, v 2, 1964.

VASCONCELOS, L. F. **Definição de parâmetros para a secagem em camada de espuma (foam-mat drying) do Juazeiro (*Ziziphus jazeiro*).** Trabalho de Conclusão de Curso. João Pessoa, PB, 2017.

WINA, E.; MUETZEL, S.; BECKER, K. **The Impact of Saponins or SaponinContaining Plant Materials on Ruminant Production - A Review.** Journal of Agricultural and Food Chemistry [online], v.53, n.21, p.8093–8105, 2005.