

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA

ANNA CAROLINE FEITOSA LIMA

SECAGEM EM CAMADA DE ESPUMA (FOAM-MAT DRYING) DA
FOLHA DO NONI (*Morinda citrifolia* L.)

JOÃO PESSOA - PB

2020

ANNA CAROLINE FEITOSA LIMA

**SECAGEM EM CAMADA DE ESPUMA (FOAM-MAT DRYING) DA FOLHA DO
NONI (*Morinda citrifolia* L.)**

JOÃO PESSOA - PB

2020

ANNA CAROLINE FEITOSA LIMA

**SECAGEM EM CAMADA DE ESPUMA (FOAM-MAT DRYING) DA FOLHA DO
NONI (*Morinda citrifolia* L.)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, em cumprimento aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Química.

Orientadora: Profa. Dra. Josilene de Assis Cavalcante

Coorientadora: Profa. Dra. Melânia Lopes Cornélio

JOÃO PESSOA - PB

2020

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

L732s Lima, Anna Caroline Feitosa.

Secagem em camada de espuma (Foam-mat drying) da folha do noni (*Morinda citrifolia* L.) / Anna Caroline Feitosa Lima. - João Pessoa, 2020.

82 f. : il.

Orientação: Josilene de Assis Cavalcante.

Coorientação: Melânia Lopes Cornélio.

Dissertação (Mestrado) - UFPB/CT.

1. Engenharia química. 2. Folha de noni. 3. *Morinda citrifolia* L. 4. Agente espumante. 5. Cinética de secagem. I. Cavalcante, Josilene de Assis. II. Cornélio, Melânia Lopes. III. Título.

UFPB/BC

CDU 66.0(043)

ANNA CAROLINE FEITOSA LIMA

**SECAGEM EM CAMADA DE ESPUMA (FOAM-MAT DRYING) DA FOLHA
DO NONI (*Morindacitrifolia*L.)**

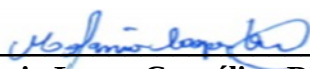
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, em cumprimento aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Química.

Aprovado em 13 de novembro de 2020.

BANCA EXAMINADORA



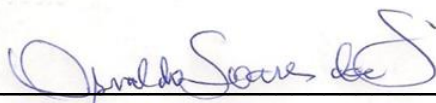
**Profa. Dra. Josilene de Assis Cavalcante – PPGEQ/CT/UFPB
(Orientadora)**



**Profa. Dra. Melania Lopes Cornélio – DEQ/CT/UFPB
(Coorientadora)**



**Profa. Dra. – Andrea Lopes de Oliveira Ferreira PPGEQ/CT/UFPB
(Examinadora Interna)**



**Prof. Dr. Osvaldo Soares da Silva – DEA/CTRN/UFCG
(Examinador Externo)**

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Espiritualidade, que me deu novos sentidos em momentos difíceis.

A minha mãe, Nailda Ramos Feitosa, por estar sempre ao meu lado, e apesar de todas as nossas diferenças nunca ter desistido de mim.

Ao meu avô, Ataíde Ramos Feitosa (*in memoriam*), que foi um verdadeiro pai para mim, apoiando-me em absolutamente todas as minhas escolhas, por ter me ensinado tanto sobre resiliência e bom humor. Por ter comemorado todas as minhas conquistas, incluindo a aprovação no mestrado.

A Maria Norma, por ser a pessoa que me suporta até nos meus piores dias, por compreender a minha rotina e me dar apoio e força em todos os momentos.

A minha orientadora Josilene, por encarar o desafio de orientar tantos alunos e estar sempre disponível para todos, sem fazer nenhum tipo de distinção, por ter me aceitado pela segunda vez como orientanda, por toda a compreensão, pelos abraços, pelos conselhos e todos os ensinamentos que ficarão comigo sempre.

A minha co-orientadora, professora Melânia, por ter aceitado o desafio de me orientar juntamente com a professora Josilene e por ser essa pessoa tão bondosa e compreensiva com todos.

A todos os professores que contribuíram para minha formação acadêmica e pessoal, em especial ao professor Nagel, sempre tão solícito para nos ajudar, tanto na sala de aula como fora; e à professora Andrea pelas conversas sobre temas tão importantes e de conscientização social.

Aos técnicos dos laboratórios de Clediana, Rafael e Débora, que sempre se mostraram dispostos a ajudar no que fosse necessário para a realização dos experimentos.

A todos os colegas e amigos que me ajudaram nessa jornada, Williane, Quissi, Pollyanna, Claudiana, Jéssica, Rayanne, Tatiana, Paloma, Eloi, Wanessa, Karina, Ana Carolina, Bárbara, Sanierly.

Ao meu amigo querido Fabrício que sempre conseguiu tirar boas risadas de mim mesmo em dias trágicos, por ser essa pessoa forte em quem me inspiro, e por ser esse profissional extremamente ético e sempre disponível para ajudar a todos.

Agradeço a todos que direta ou indiretamente me ajudaram na conclusão deste ciclo.

RESUMO

A espécie *Morinda citrifolia* L., da família Rubiaceae, popularmente conhecida por noni, embora bastante consumida na Ásia há mais de 2000 anos, é ainda pouco conhecida no Brasil. Estudos fitoquímicos mostram que as folhas do noni contêm uma variedade de componentes químicos, incluindo terpenóides, fitosteróis, ácidos graxos, iridóides glicosídicos, flavonóides glicosídeos, entre outros. A secagem é uma maneira de aumentar o tempo de vida útil de produtos, uma vez que ao se reduzir a atividade de água, diminui-se o risco de proliferação de microrganismos. E dentre os tipos de secagem, há a secagem em camada de espuma, que entre os diversos benefícios está o baixo custo. O objetivo desta pesquisa foi avaliar a secagem em camada de espuma da folha do noni para obtenção da sua forma em pó. O agente espumante utilizado foi o Portogel®, definido previamente em testes preliminares, e a espuma obtida foi caracterizada fisicamente quanto a estabilidade, densidade e *over run*. A secagem foi realizada de acordo com o planejamento experimental fatorial completo de $2^3 + 3$ pontos centrais, sendo as variáveis independentes: concentração de agente espumante (3, 4 e 5%), tempo de agitação (3, 4 e 5 minutos) e temperatura de secagem (50, 60 e 70 °C) com o intuito de verificar suas influências no tempo de secagem e umidade final de base seca. As curvas de secagem e de taxa de secagem apresentaram comportamento típico, caracterizado por um longo período constante seguido de um curto período de taxa decrescente. As maiores taxas de secagem foram apresentadas nos experimentos à temperatura de 70 °C e as menores taxas para temperatura de 50°C. O pó obtido nos onze experimentos mostraram valores médios de umidade de aproximadamente 5,07% (b.u.) e atividade de água de 0,288, o que favorece a conservação e comercialização dentro dos padrões exigidos pela legislação. As demais caracterizações físico-químicas do pó (rendimento, solubilidade, sólidos solúveis totais, acidez titulável total, pH, teor de lipídeos, teor de ácido ascórbico e cinzas) apresentaram valores próximos aos encontrados na literatura para outros tipos de folhas em pó bem como para o fruto do noni em pó. A influência da adição do agente espumante foi analisada através o pó liofilizado para as análises de sólidos solúveis totais, pH e acidez titulável total, cujo comparativo com os valores dos onze experimentos não apresentou alterações significativas. As melhores condições encontradas para a fabricação em larga escala são as do experimento 5 (3%, 3min, 70° C), pois utiliza uma baixa concentração do agente espumante, apresentou o segundo menor tempo de secagem (140 minutos), e a menor atividade de água (*aw*), que minimiza as chances de contaminação microbiológica e permite uma maior segurança de estocagem.

Palavras-chave: folha de noni; cinética de secagem; atividade de água; agente espumante

ABSTRACT

Species *Morinda citrifolia* L., from Rubiaceae family, popularly known as noni, although widely consumed in Asia for more than 2000 years, is still unknown in Brazil. Phytochemical studies show that noni leaves contain a variety of chemical components, including terpenoids, phytosterols, fatty acids, glycosidic iridoids, glycoside flavonoids, among others. Drying is a way to increase the shelf life of products, since by reducing water activity, the risk of proliferation of microorganisms is reduced. Among the types of drying, there is the drying in foam layer, which among several benefits is the low cost. The aim of this research was to evaluate the drying in the foam layer noni leaf to obtain its powder form. The foaming agent used was Portogel®, previously defined in preliminary tests, and the foam obtained was physically characterized in terms of stability, density and over run. The drying was carried out according to the complete factorial design of $2^3 + 3$ central points, with independent variables: concentration of foaming agent (3, 4 and 5%), stirring time (3, 4 and 5 minutes) and temperature drying time (50, 60 and 70 ° C) in order to verify their influence on drying time and final dry base moisture. The drying and drying rate curves showed typical behavior, characterized by a long constant period followed by a short period of decreasing rate. The highest drying rates were shown in the experiments at 70 ° C and the lowest rates at 50 ° C. The powder obtained in the eleven experiments showed average humidity values of approximately 5.07% (b.u.) and water activity of 0.288, which favors conservation and commercialization within the standards required by legislation. The other physico-chemical characterizations of the powder (yield, solubility, total soluble solids, total titratable acidity, pH, lipid content, ascorbic acid content and ash) presented values close to those found in literature for other types of powdered leaves as well as for the powdered noni fruit. The influence of addition of the foaming agent was analyzed through the lyophilized powder for the analysis of total soluble solids, pH and total titratable acidity, whose comparison with the values of the eleven experiments did not show significant changes. The best conditions found for large-scale manufacturing are those of experiment 5 (3%, 3min, 70 ° C), since it uses a low concentration of the foaming agent, it presented the second shortest drying time (140 minutes), and the shortest water activity (aw), which minimizes the chances of microbiological contamination and allows greater storage safety.

Keywords: noni leaf, drying kinetics; water activity; foaming agent

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	8
1.1 OBJETIVO GERAL.....	10
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
2 REVISÃO DE LITERATURA	11
2.1 PLANTAS MEDICINAIS.....	11
2.2 NONI (<i>Morinda citrifolia</i> L.)	12
2.2.1 Aspectos botânicos	12
2.2.2 Distribuição geográfica do noni	14
2.2.3 Composição química e estudos realizados com o noni	14
2.3 SECAGEM.....	16
2.3.1 Secagem em camada de espuma.....	17
2.3.2 Curvas de cinética de secagem e taxa de secagem	18
2.3.3 Modelos matemáticos para secagem	20
2.3.4 Isotermas de sorção	21
3 METODOLOGIA.....	21
3.1 OBTENÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA	22
3.2 LAVAGEM E HIGIENIZAÇÃO.....	23
3.3 PREPARO DA ESPUMA	23
3.4 CARACTERIZAÇÃO DA ESPUMA.....	23
3.4.1 Estabilidade	23
3.4.2 Densidade	24
3.4.3 Capacidade de incorporação de ar (<i>over run</i>).....	25
3.4 SECAGEM EM CAMADA DE ESPUMA.....	26
3.5 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL	27
3.6 CINÉTICA E AJUSTES MATEMÁTICOS	28
3.7 CARACTERIZAÇÃO DOS PÓS OBTIDOS	29
3.7.1. Rendimento teórico	29
3.7.2 Teor de sólidos solúveis totais (°Brix)	30
3.7.3 Potencial hidrogeniônico (pH).....	30
3.7.4 Solubilidade	30
3.7.5 Atividade de água	31
3.7.6 Teor de cinzas.....	31
3.7.7 Lipídios.....	31
3.7.8 Umidade	32

3.7.9 Determinação da acidez total titulável (ATT)	32
3.7.10 Determinação de ácido ascórbico	33
3.8 LIOFILIZAÇÃO	33
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ESPUMA.....	34
4.1.1 Estabilidade	34
4.1.2 Densidade	36
4.1.3 Capacidade de incorporação de ar	37
4.2 SECAGEM EM CAMADA DE ESPUMA.....	38
4.2.1 Planejamento experimental fatorial completo para análise estatística da secagem em camada de espuma	38
4.2.2 Cinética de secagem	43
4.3.2 Ajustes dos dados experimentais da secagem da folha da noni	47
4.3 CARACTERIZAÇÃO DO PÓ	54
4.3.1 Características físicas (rendimento teórico, solubilidade, atividade de água e umidade).....	54
4.3.2 Características físico-químicas (sólidos solúveis totais, pH, acidez total titulável, , lipídios) 58	
4.3.3 Compostos inorgânicos (teor de cinzas) e bioativos (ácido ascórbico).....	61
5 CONCLUSÕES	63
REFERÊNCIAS	65
APÊNCIDES	75

1 INTRODUÇÃO

De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS) aproximadamente 80% da população de países em desenvolvimento faz uso de práticas tradicionais na atenção primária à saúde e, desse total, 85% faz uso de plantas medicinais para tratamentos de saúde. Destes, cerca de 30% seguiram prescrição médica, que indicava o uso de alguma planta medicinal.

A utilização de plantas para tratamento, cura e prevenção de patologias, é uma das formas mais antigas de medicina popular e, segundo relatos, o seu uso data de 3000 (a.C.) (ALVES e NASCIMENTO, 2010). A sua utilização para fins medicinais vem se expandindo no meio científico, observando-se que nas últimas décadas houve a revalorização do seu uso, levando em consideração os inúmeros efeitos colaterais indesejados de drogas sintéticas (STROBEL e DAISY, 2003). E o Brasil, com sua ampla biodiversidade possui significativo potencial para desenvolvimento e pesquisas nesta área.

A divulgação de atributos medicinais relacionados a uma determinada planta causa um aumento em seu consumo e conseqüentemente comercialização. Quando isso ocorre, é comum observar a popularização do seu consumo (MACIEL et al., 2002; VEIGA et al., 2005), fato este ocorrido com o noni (*M. citrifolia* L.) em âmbito mundial (WANG et al., 2002; ZIN, ABDUL-HAMID e OSMAN, 2002; SANTHOSH et al., 2013).

A *Morinda citrifolia* L., popularmente conhecida por noni, embora bastante consumido na Ásia há mais de 2000 anos, é ainda pouco conhecida no Brasil. Caracteriza-se por ser uma árvore de pequeno porte da família das Rubiaceas, pertencente a quarta maior família das angiospermas, originária do Sudoeste da Ásia (WANG et al., 2002). Tem sido utilizada durante séculos na medicina tradicional dos povos polinésios. As folhas e seu fruto são consumidos sob diferentes formas por várias comunidades do mundo (CHAN-BLANCO et al., 2006).

Estudos fitoquímicos mostram que as folhas do noni contêm uma variedade de componentes químicos, incluindo terpenóides, fitoesteróis, ácidos graxos, iridóides glicosídicos, flavonóides glicosídeos, entre outros. Os flavonóides glicosídeos parecem predominar nas folhas do noni (DENG, WEST e JENSEN, 2008; SERAFINI et al., 2011a). Tais componentes estão relacionados com atividade bioinseticida, antibactericida, antioxidante, antiviral, antifúngica, antitumoral, anti-helmíntica, analgésica, anti-inflamatória, hipotensora e imunoestimulante (WANG et al., 2002). Estudos têm caracterizado alguns

produtos naturais com o intuito de identificar e quantificar os componentes bioativos destes vegetais (NEVES, ALENCAR e CARPES, 2008).

A secagem é um método amplamente utilizado na indústria que reduz a atividade de água, sendo uma das formas mais eficientes de aumentar a vida útil de determinado material, uma vez que diminui o crescimento microbiano, facilitando assim sua comercialização.

A secagem em camada de espuma consiste em um processo de conservação, onde o material líquido ou semilíquido é transformado numa espuma estável, através da incorporação de ar ou outro gás, que é submetido à secagem com ar aquecido (FALADE, ADEYANJU e UZO-PETERS, 2003). Trata-se de um método relativamente simples e barato, que utiliza aditivos cuja finalidade é manter a espuma estável durante o processo (FRANCO et al., 2015; WIDYASTUTIL e SRIANTA, 2011; KUDRA e RATTI, 2008).

Diante do exposto e visando a expansão dos conhecimentos sobre o uso dessa planta com grande potencial medicinal, desenvolveu-se um estudo de secagem das folhas do noni onde foram testadas as melhores condições operacionais do processo a fim de conservar as principais propriedades benéficas das folhas no produto final para corroborar com estudos futuros da aplicação do pó da folha do noni, e o estudo teve os seguintes objetivos:

1.1 OBJETIVO GERAL

Obtenção e análise do pó da folha do noni (*Morinda citrifolia* L.) pelo método de secagem em camada de espuma.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar a caracterização física da espuma a ser seca;
- Estudar a cinética de secagem da folha de noni, em leito de espuma, baseado no planejamento experimental fatorial completo $2^3 + 3$ pontos centrais (11 experimentos) e avaliar a influência das variáveis de entrada (concentração de emulsificante; temperatura de secagem; tempo de agitação) sobre a resposta (tempo de secagem; umidade final em base seca);
- Realizar a análise estatística dos dados experimentais obtidos através do planejamento experimental fatorial;
- Fazer ajuste matemático para os dados obtidos na secagem em camada espuma;
- Realizar caracterizações físico-químicas, físicas e químicas do pó obtido.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 PLANTAS MEDICINAIS

De acordo com Foglio et al. (2006) planta medicinal é definida por aquela que pode ser administrada sob qualquer forma por alguma via ao homem, desempenhando funções farmacológicas. Elas se classificam por ordem de importância, e no topo estão as que são administradas de forma direta para fins curativos, em seguida as usadas como matéria-prima para manipulação, e por fim, as que são usadas na indústria para síntese de fármacos. Seu uso se aplica ao tratamento de várias enfermidades, e combate desde doenças mais graves como o câncer a microrganismos patogênicos.

Além de plantas (frescas e/ou secas), alguns alimentos e especiarias também podem ser considerados plantas medicinais, por além de sua utilidade na culinária possuírem fitoquímicos, vitaminas e sais minerais (KALLUF, 2008).

A utilização de plantas para fins medicinais é uma prática tão antiga quanto o próprio homem. O uso de tais plantas esteve por muito tempo associado às práticas de magia, místicas e ritualísticas, por isso a dificuldade de determinar de forma precisa a evolução da arte de curar. Cada povo possui a sua própria listagem de ervas medicinais, geralmente plantas presentes no território em que habitam, cujas aplicações se transmitem através de gerações. (LORENZI e MATOS, 2008; BANÓSKI, 2008; CASARIN, HECK e SCHWARTZ, 2005; CARAVACA, 2000)

A matéria-primavegetal pode ser obtida de duas formas distintas: a coleta das fontes nativas e a cultivada, sendo esta segunda a forma mais viável e promete ser, no futuro, a principal fonte de matéria-prima vegetal, algumas das razões são: o fato que muitas das substâncias de origem natural não podem ser sintetizadas, ou podem ser sintetizadas somente com grande esforço, necessitando do cultivo da matéria-prima vegetal; a incerteza no fornecimento da matéria-prima ativa vegetal, quando esta é obtida de fontes nativas, mostra a necessidade de cultivo. A quantidade disponível está distribuída em pequenas áreas dispersas, necessitando de “mateiros” que conheçam bem as plantas para poder coletá-las. Todos estes fatores levam a ocorrência de erros na identificação e adulteração da matéria-prima ativa vegetal (PACHU, 2007)

De acordo com a Resolução RDC nº 26/2014, fitoterápico é o produto obtido de matéria-prima ativa vegetal, com finalidade profilática, curativa ou paliativa, incluindo medicamento fitoterápico e produto tradicional fitoterápico, podendo ser simples, quando o

ativo é proveniente de uma única espécie vegetal medicinal, ou composto, quando o ativo é proveniente de mais de uma espécie vegetal (BRASIL, 2014). De acordo com a Resolução RDC nº 10/2010 também são considerados como fitoterápicos as plantas medicinais ou suas partes, que contenham as substâncias, ou ainda classes de substâncias, responsáveis pela ação terapêutica, após processos de coleta ou colheita, estabilização e secagem, íntegras, rasuradas, trituradas ou pulverizadas (BRASIL, 2010).

Um medicamento não é considerado fitoterápico quando, na sua composição, há substâncias ativas isoladas, de qualquer origem, nem as associações destas com extratos vegetais. Para uso seguro de produtos fitoterápicos e plantas medicinais é imperativo o conhecimento do processo de coleta, estabilização e secagem, podendo ser íntegra, rasurada, triturada ou pulverizada e como prepará-la (NICOLLETTI et al., 2007).

A indicação de medicamentos desta natureza não deve sugerir a substituição de medicamentos convencionais registrados, mas aumentar as opções terapêuticas oferecendo produtos de boa qualidade e respeitando os preceitos éticos que regem a utilização de substâncias com este fim. Um fitoterápico deve ser tratado como um produto estranho ao organismo, nele introduzido com finalidade terapêutica, e como tal, apresenta-se potencialmente tóxico até prova em contrário (PACHU, 2007; SIMÕES, 2017).

Ainda segundo Pachú (2007) as indústrias de fármacos se interessam em especial por extratos secos, pois as formas farmacêuticas sólidas apresentam precisão de dosagem e facilidade de manuseio, transporte e armazenagem, além das formas farmacêuticas secas apresentarem maiores estabilidade química, física e microbiológica

2.2 NONI (*Morinda citrifolia* L.)

2.2.1 Aspectos botânicos

Segundo Müller (2007) o noni faz parte da família: *Rubiaceae* Juss, gênero: *Morinda* e espécie: *M. citrifolia*, tendo como nome científico *Morinda citrifolia* Linn. A família *Rubiaceae* é constituída por, aproximadamente, 6500 gêneros e 13000 espécies (GOVAERTS et al., 2007).

Estudos confirmam a origem do noni no sudeste da Ásia e da Austrália, e sua distribuição pela região do Pacífico se deu graças às suas propriedades fitoterápicas e ao seu uso como corante (SU et al., 2001; NELSON, 2006).

Segundo (WANG et al.,2002) a utilização pelos polinésios está associada à fonte alimentícia e aos fins medicinais. E a partir de 2005 o noni ficou mundialmente conhecido por suas propriedades fitoterápicas (NELSON e ELEVITCH, 2006).

O noni é uma planta com folhas numerosas e em formato elíptico e de coloração verde escura, variando de 7 a 24 cm de largura (Figura 2.1). As flores tubulares são pequenas, brancas e aglomeradas em pedúnculos. Os pecíolos deixam marcas anelares nas hastes e corola branca ou esverdeada (VEIGA et al., 2005).

Figura 2.1- Planta do noni (*Morinda citrifolia* L.) arbusto.



Fonte: Autora.

A planta de noni pode ser encontrada em solos salinos e condições de seca, sendo pouco infectada por doenças ou atacada por insetos, se ajusta muito bem às regiões costeiras, desde o nível do mar até 400 m de altitude. A sua exploração comercial dá-se a partir de plantas originadas de sementes (GERMOSÉN-ROBINEAU, 1995).

Os primeiros produtos a serem comercializados desta espécie foram derivados do fruto, na década de 90 nos EUA (ARUNA et al.,2013; NASCIMENTO, 2012). Entretanto, todas as suas partes (frutos, folhas, cascas e raízes) podem ser destinadas a fins terapêuticos. As cascas e as raízes, por exemplo, são usadas para tingir roupas e cerâmicas, assim como podem ser utilizadas como suplemento alimentar (BEWLEY et al.,2013; PALU et al.,2008;WANG, 2002).

2.2.2 Distribuição geográfica do noni

O noni se dispersa geograficamente graças às suas sementes consideradas flutuantes e à sua produção de flores e frutos na maior parte do ano (LÉON e POVEDA, 2000; SILVA, 2010).

As três variedades mundialmente distribuídas de *M. citrifolia*: *Morinda citrifolia* var. *bracteata*, *Morinda citrifolia* var. *potteri* e *Morinda citrifolia* var. *citrifolia*, sendo essa mais conhecida e distribuída pelo mundo (NELSON, 2005; RAZAFIMANDIMBISON et al., 2010).

A distribuição no Brasil se deu através do apelo comercial devido às descrições de benefícios ocasionados pelo seu consumo e seu cultivo se concentra principalmente nos Estados do Acre, São Paulo, Minas Gerais, no Nordeste do Brasil, especificadamente nos Estados de Sergipe e Ceará. Apesar de sua distribuição estar se expandindo, ainda são escassos os trabalhos de pesquisa científicos desenvolvidos no Brasil com essa espécie (ALENCAR et al., 2013; MATOSO et al., 2013; CORREIA et al., 2011).

Apesar da demanda internacional de produtos derivados do noni, é recente o desenvolvimento do cultivo no Brasil, gerado através do método de propagação sexuada (utilizando sementes), em viveiros sob controle fitossanitário. Uma vez que seu potencial socioeconômico relacionado ao cultivo de plantas nativas e exóticas na região Nordeste do Brasil vem se delineando cada vez mais (SOUSA et al., 2010),.

Em razão da adaptabilidade às condições edafoclimáticas e seu valor associado no mercado, a espécie *Morinda citrifolia* L. tende a crescer no Brasil, considerando o uso medicinal de produtos relacionados a esta espécie (RODRÍGUEZ e PINEDO, 2004).

2.2.3 Composição química e estudos realizados com o noni

Estudos fitoquímicos evidenciaram que as folhas do noni contêm uma variedade de componentes químicos, incluindo terpenóides, fitoesteróis, ácidos graxos, iridóides glicosídicos, flavonóides glicosídeos, entre outros. (DENG, WEST e JENSEN, 2008; SERAFINI et al., 2011a).

As várias partes da planta são empregadas popularmente em suas variadas funções. Estudos científicos recentes demonstram o uso do suco do noni para melhora de perfis de marcadores de risco em fumantes, tais como colesterol e triglicerídeos (WANG et al., 2002); agente anti-psicótico (PANDY, NARASINGAM e MOHAMED, 2012); antioxidante e

regulador de colesterol (LIN et al., 2013; inibição da *Enterococcus faecalis* (BHARDWAJ, BALLAL e VELMURUGAN, 2012); redução de células de câncer mamário (CLAFSHENKEL et al., 2012); propriedade anti-câncer (JANG, 2012) e metabolismo da glicose (NERURKAR et al., 2012).

Quanto aos antioxidantes dos extratos das raízes, folhas e frutos Zin, Abdul-Hamid e Osman (2002) identificaram alta atividade em extratos devido aos seus compostos apolares e polares presentes nas três partes da planta, quando comparados com antioxidantes clássicos como o α -tocoferol e di-terc-butimetil-fenol (BHT), por exemplo.

Kamiya et al. (2004), investigaram os efeitos dos frutos do noni e obtiveram bons resultados acerca da arteriosclerose – doença relacionada com a oxidação das lipoproteínas de baixa densidade (LDL), efeito esse que pode ser devido à presença de ligninas e dímeros fenilpropanóide.

West et al. (2009) realizaram um estudo com voluntários sadios, concluindo que as folhas do noni, por meio de um extrato etanólico incorporado a um gel de aplicação tópica, reduzem o eritema causado pela radiação UVB, o que proporciona alguma medida de defesa contra a inflamação localizada. O mecanismo de ação envolvido seria em relação à atividade anti-inflamatória através de receptores anti-histamínicos H-1, e por atenuação de radicais livres.

Estudos realizados por Serafini et al. (2011a e 2011b) evidenciaram através da triagem fitoquímica, a existência de alcalóides, cumarinas, flavonóides, taninos, esteróides e triterpenóides no extrato aquoso das folhas do noni. O doseamento de fenóis totais mostrou a presença de 196,8 mg/g de ácido gálico, e a caracterização por cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE) identificou a presença do flavonóide rutina e de glicosídeos kaempferol.

Ainda segundo Serafini et al. (2011a e 2011b), os resultados indicam que o noni, de um modo geral, apresenta importante atividade antioxidante *in vitro*, e em relação à atividade antibacteriana mostrou-se efetivo apenas contra *Aeromonas hydrophila*. No que diz respeito à atividade anti-inflamatória e antinociceptiva, observou-se eficácia na redução de contorções abdominais induzida por ácido acético (na dose de 400 mg/kg) e diminuição da migração de leucócitos pelo ensaio de peritonite (nas doses de 200 e 400 mg/kg). O extrato do noni não apresentou alteração quanto aos parâmetros bioquímicos, hematológicos e histopatológicos no estudo de toxicidade aguda. Além disso, o extrato apresentou citotoxicidade apenas na maior concentração testada (25 mg/mL)

LV et al. (2011), ao estudarem a composição das raízes da planta de noni, chegaram à conclusão de que as antraquinonas apresentam componentes com efeitos relacionados

importantes efeitos relacionados a inibição da proliferação das células cancerígenas humanas do pulmão e cólon.

Zhang et al. (2016) concluíram que as folhas do noni possuem componentes fenólicos que podem contribuir de forma significativa para atividades antibacterianas.

Estudos realizados por Shalan, Mustapha e Mohamed (2017) avaliaram a toxicidade crônica dos frutos e folhas do noni em camundongos. O estudo de 6 meses mostrou que o extrato da fruta produziu efeitos de toxicidade crônica na alta dose de 2mg/mL de água potável, evidenciada por meio de histologia hepática deteriorada. O extrato aquoso da folha de noni, não apresentou toxicidade observável.

Mohamed e Suhaila (2019) estudaram a apoptose de células de leucemia induzidas por folhas de noni e seu efeito sinérgico com um conhecido composto anti-leucêmico, os resultados foram satisfatórios, tanto na análise individual quanto no efeito sinérgico por meio das vias intrínseca e extrínseca e não apresentaram toxicidade significativa para as células normais.

Hui et al. (2020) identificaram o perfil de catequinas (fitonutriente com ação antioxidante) e sua atividade hipolipemiante do extrato aquoso da folha de noni e os resultados mostraram potencial para modular os níveis de colesterol.

LY et al. (2020) analisaram a atividade antioxidante e anti-inflamatória para cicatrização de feridas utilizando extrato da folha do noni onde foram identificados flavonoides, alcaloides, taninos, triterpenos, saponinas e cumarinas. O extrato se mostrou ativo contra a *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* e *Staphylococcus aureus*, e obtiveram resultados positivos no efeito de cicatrização de feridas em testes com camundongos.

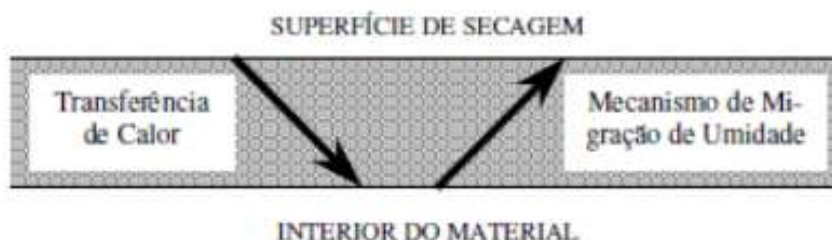
2.3 SECAGEM

A secagem é um dos métodos mais antigos da humanidade utilizado para a conservação dos alimentos, a partir dele foi possível aumentar o tempo de vida de prateleira de frutas e vegetais, juntamente com a salga de produtos cárneos. O principal objetivo da desidratação de frutas e hortaliças é aumentar a seu tempo de vida útil, que consiste na redução do teor de água até um determinado nível, no qual as concentrações de açúcares, ácidos, sais e outros componentes sejam suficientemente altas para reduzir a atividade de água, impedindo o crescimento e proliferação de micro-organismos responsáveis pela

deterioração dos alimentos (CELESTINO, 2010; FELOWS, 2006; PARK et al., 2007; TRAVAGLINI et al., 1993; STRUMILLO e KUDRA, 1986).

Na secagem o ar aquecido em contato com o material a ser seco transfere calor para a superfície do material, aquecendo-a e criando um gradiente de temperatura com o interior do material. Tal gradiente promoverá a transferência de calor por condução, sendo tal calor utilizado para aquecer tanto o material como a água nele contida. O aquecimento da água, por sua vez, aumentará a sua pressão de vapor, criando condições favoráveis para a transferência de massa de água da superfície do material para o ar externo (Figura 2.2). Assim, é criado também um gradiente hídrico nas camadas do material e, através do mecanismo de difusão molecular, o líquido mais interno migra para a superfície, onde evapora e é carregado pelo ar de secagem externo, criando novos gradientes de umidade (DIAS, 2013; CELESTINO, 2010).

Figura 2.2 – Diagrama do movimento da água no interior do sólido no processo de secagem.



Fonte: PARK et al. (2007).

Existem diferentes métodos de secagem que são relatados na literatura, onde a escolha depende do tipo de material a ser seco, do uso final do produto e das características que devem ser preservadas. Um dos métodos que menos danifica as propriedades do material é a liofilização. No entanto, esta técnica tem um custo elevado. Como uma alternativa de menor custo, surge o método de secagem em camada de espuma.

2.3.1 Secagem em camada de espuma

Dentre as técnicas empregadas para a obtenção de produtos em pó, a secagem em camada de espuma (*foam-mat drying*), técnica da década de 1950 nos EUA, Califórnia, por Morgan e sua equipe e só foi patenteada em 1961. Esta técnica tem a vantagem de promover uma secagem rápida de materiais líquidos, tais como sucos de frutas, e também vem sendo bastante utilizada para materiais pastosos, como purês ou polpas de frutas (MARQUES, 2009).

Nesse método, os materiais líquidos ou semilíquidos são transformados em espumas estáveis, através de vigorosa agitação com ou sem incorporação de agentes espumantes para, posteriormente, serem desidratados. Esse tipo de processo consiste basicamente de três etapas: modificação na consistência líquida do suco ou polpa em uma espuma estável, pela adição de agentes espumantes que nem sempre faz-se necessária, secagem do material em camada fina e pulverização do material desidratado (TRAVAGLINI et al., 1993).

A secagem em camada de espuma é executada a baixas temperaturas, entre 50 a 70°C, e mantém alta qualidade e boa estabilidade dos produtos, com testes realizados em café, sucos de laranja, *grapefruit*, uva, carambola, banana, abacaxi, coco, batatas, alimento para crianças, leites, ameixa, maçã, sopas, cremes, ovos, tomate, acerola, tamarindo entre outros produtos (SILVA et al., 2005).

Esta técnica tem ganhado destaque devido a sua capacidade em secar material de difícil desidratação, e obter produtos de propriedades desejadas (fácil reidratação, densidade controlada) restando as substâncias mais voláteis que, de outra forma, seriam perdidas durante a secagem em temperaturas mais elevadas. Dessa maneira, a técnica vem sendo muito utilizada em alimentos sensíveis ao calor, viscosos e com alto índice de açúcar, como os sucos de frutas (RAJKUMAR, et al., 2007).

Para o método de secagem em camada de espuma, a estabilidade da espuma e massa específica são consideradas características relevantes. A determinação das melhores formulações fará com que as espumas utilizadas na secagem sejam capazes de suportar diversas operações mecânicas incluindo bombeamento, espalhamento, assim como a própria secagem (CRUZ, 2013).

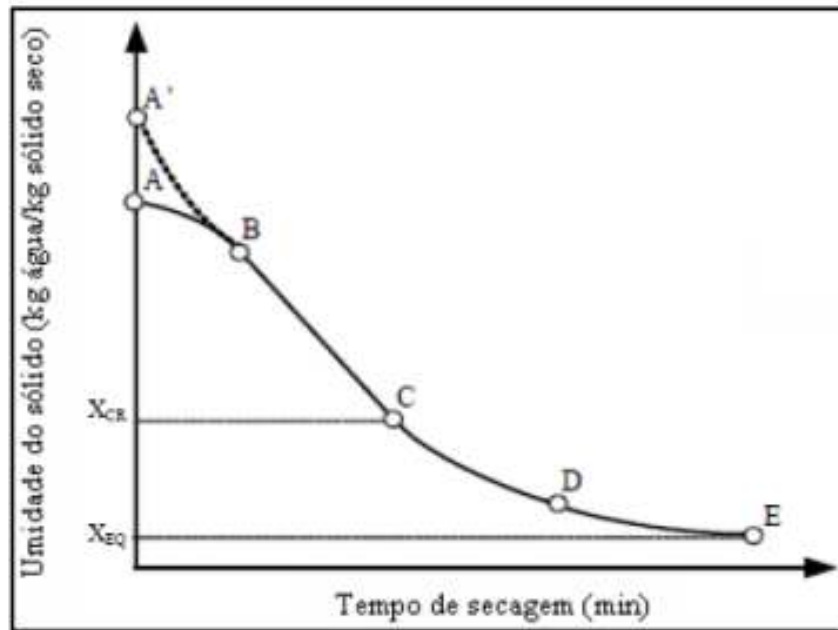
A secagem em camada de espuma apresenta as seguintes vantagens: as menores temperaturas de desidratação e o menor tempo de secagem devido à maior área de superfície exposta ao ar e à velocidade de secagem, o que supera o fato da transferência de calor estar impedida por um grande volume de gás na massa de espuma. O processo além de permitir uma rápida remoção de água, promove a obtenção de um produto poroso e de fácil reidratação (KUDRA e RATTI 2008; SANKAT e CASTAIGNE, 2004).

2.3.2 Curvas de cinética de secagem e taxa de secagem

Os sólidos quando submetidos ao processo de secagem apresentam um comportamento geral sob condições de temperatura e umidade relativamente fixas, o perfil

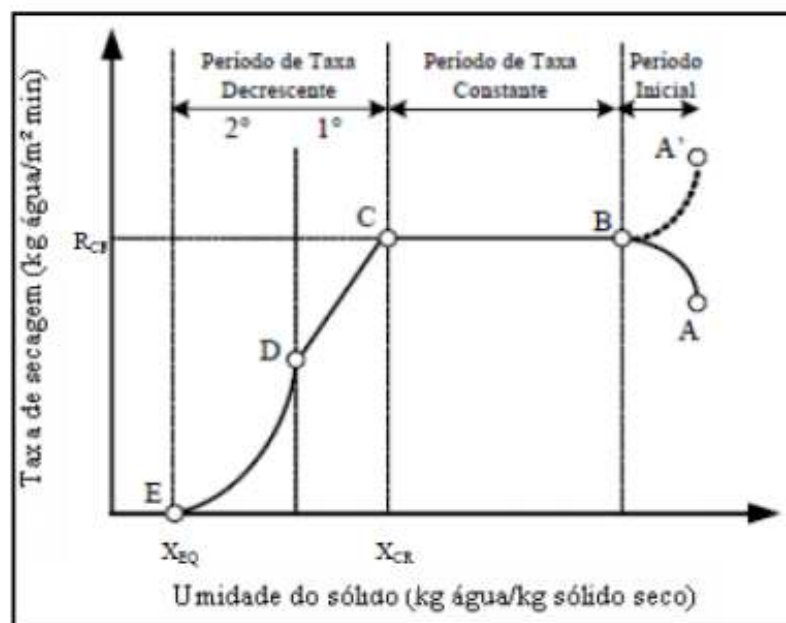
desse comportamento é dividido em períodos como mostrado na Figura 2.3 (PERAZZINI, 2011).

Figura 2.3 – Curva experimental de cinética de secagem.



Fonte: PERAZZINI (2011).

Figura 2.4 – Curva de taxa de secagem.



Fonte: PERAZZINI (2011).

No período inicial da secagem, as fases envolvidas tendem a uma condição de equilíbrio entre suas temperaturas ($A' - B$ e $A-B$). No primeiro caso, a fase gasosa está a uma temperatura abaixo da temperatura que se encontra o sólido e absorve energia deste, diminuindo significativamente a taxa de secagem. No segundo caso, o sólido está a uma temperatura abaixo da temperatura de saturação adiabática do ar e a taxa de evaporação aumenta até o momento em que é atingida a condição de equilíbrio. Quando esta condição é estabelecida, a temperatura da superfície do sólido é igual à temperatura de bulbo úmido do ar, dando início ao período à taxa de secagem constante ($B-C$).

Quando as temperaturas das fases se igualam e a estabilidade entre ambas permanece, a superfície do sólido é mantida saturada e o mecanismo dominante de transferência é a convecção. Assim, a taxa de secagem se torna dependente das condições de temperatura, umidade e velocidade do ar. Este período à taxa de secagem constante ocorre apenas quando a migração da água do interior do material para a superfície do sólido ocorre tão rápido quanto a evaporação da água. O mesmo encerra quando o sólido atinge o grau de umidade crítica (X_{CR}), onde a temperatura de sua superfície aumenta e a taxa de secagem diminui rapidamente. No período à taxa decrescente, o mecanismo controlador do processo de transferência de massa é a migração interna de umidade no interior do sólido para a sua superfície e é caracterizado pelo primeiro período ($C-D$) e pelo segundo período ($D-E$). O processo de secagem se encerra quando é atingida a umidade de equilíbrio (X_{EQ}) (PERAZZINI, 2011; STRUMILLO e KUDRA, 1986;).

2.3.3 Modelos matemáticos para secagem

A cinética de secagem possui dois modelos matemáticos tradicionalmente utilizados para representá-la: os modelos puramente convectivos e os modelos difusivos. A construção desses modelos, desenvolvida a partir da análise do comportamento de secagem de uma única partícula, geralmente considera todos os parâmetros de transporte constantes, possibilitando uma descrição similar da taxa de secagem (MAYTA, MASSARANI e PINTO, 1996).

Diversos modelos matemáticos (Quadro 2.1) são usados para descrever o processo de secagem, e apesar de várias teorias serem propostas para prever o comportamento de alguns alimentos, na maioria das vezes, as relações semi-empíricas e empíricas têm sido as melhores opções para descrever o processo de secagem apesar de sua validade estar restrita às condições sob as quais os dados experimentais foram obtidos (BROOKER; BAKKER-ARKEMA; HALL, 1992).

Quadro 2.1 - Modelos matemáticos aplicados às curvas de secagem onde RU representa a razão de umidade

Nome	Modelo
Newton	$RU = e^{-kt}$
Page	$RU = e^{-kt^n}$
Page Modificado*	$RU = ae^{(-kt)^n}$
Henderson e Pabis	$RU = ae^{-kt}$
Logarítmico	$RU = ae^{-kt} + c$
Dois termos	$RU = ae^{-kt} + be^{-nt}$
Aproximação de difusão	$RU = ae^{-kt} + (1 - a)e^{-kbt}$
Wang e Singh	$RU = 1 + at + bt^2$
Midilli, Kucuk e Yapar	$RU = ae^{-kt^n} + bt$

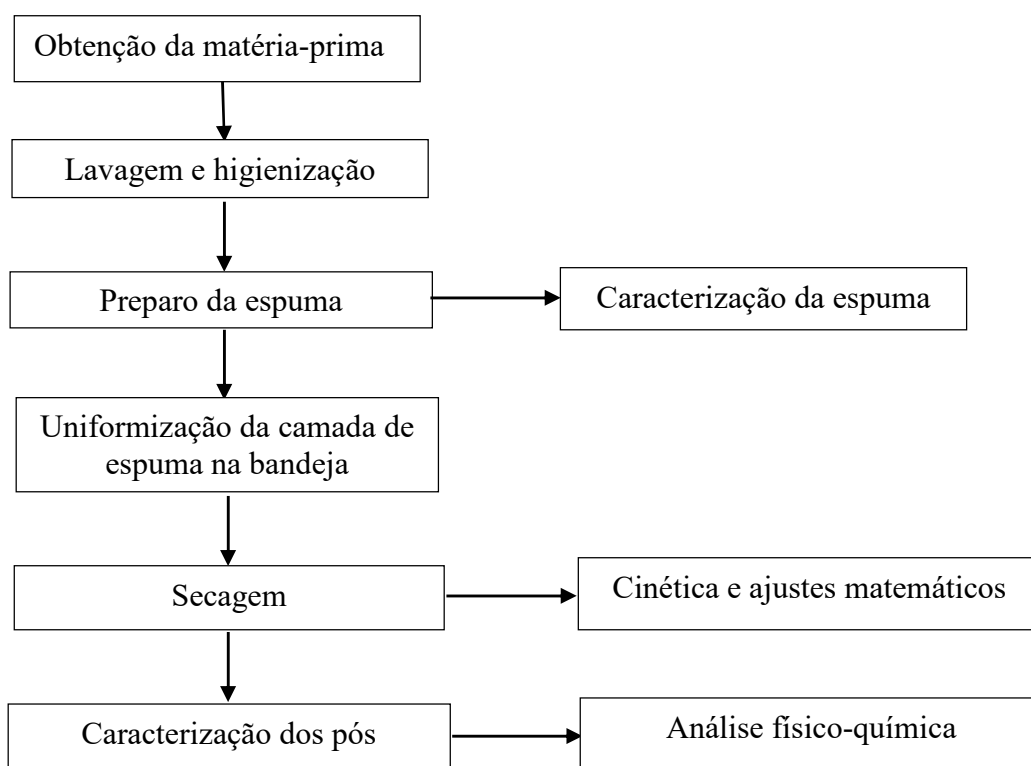
*Modificado por MANGUEIRA (2018). Fonte: Adaptado de ERTEKIN e YALDIZ (2004, FRANCO (2015).

3 METODOLOGIA

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Termodinâmica com o apoio do Laboratório de Bioengenharia do Departamento de Engenharia Química do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba (DEQ/UFPB).

Na Figura 3.1 é mostrado o fluxograma que representa o passo a passo do processo de secagem em camada de espuma, desde a obtenção da matéria-prima, até as caracterizações físico-químicas do pó obtido.

Figura 3.1 – Fluxograma do procedimento realizado para a secagem em camada de espuma.



3.1 OBTENÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA

As folhas de noni que foram utilizadas nos experimentos foram colhidas em um domicílio localizado no bairro do Rangel da cidade de João Pessoa (-7.145372029554485; -34.8768666892214) e conduzidas até o Laboratório de Termodinâmica - CT/UFPB (-7.14220907809844; -34.85032795765752). Os critérios utilizados na escolha das folhas foram tamanho e cor, com o objetivo de padronizar ao máximo os experimentos. As folhas foram retiradas sempre do topo da árvore e com mesmo padrão de tamanho e cores.

3.2 LAVAGEM E HIGIENIZAÇÃO

Inicialmente as folhas selecionadas foram lavadas em água corrente uma a uma, com adição de detergente neutro, para eliminação de contaminação superficial e impurezas presentes. Em seguida realizou-se a sanitização, de acordo com a Resolução RDC nº 218 (BRASIL, 2005), onde elas foram colocadas em recipiente de plástico contendo solução de hipoclorito de sódio (10 mL de hipoclorito diluído em 2 litros de água), durante 5 minutos e posteriormente lavados novamente com água corrente. O excesso de água foi retirado com ajuda de papel toalha.

3.3 PREPARO DA ESPUMA

Para a produção de espuma foi preparado um composto vegetal com as folhas na proporção de massa de folhas/água destilada de 1:3, ou seja, a cada 50 g de massa de folhas devidamente sanitizadas pesadas, utilizou-se 150 mL de água destilada. As folhas foram cortadas em pedaços menores para facilitar seu processamento e em seguida a mistura foi homogeneizada por 3 minutos em um liquidificador de alta rotação industrial da marca Metvisa, com capacidade de 2 litros e velocidade constante de 1800 rpm.

O composto vegetal não possui características capazes de produzir espuma, por isso se fez necessária a adição de um agente espumante.

Ao composto foi adicionado o emulsificante Portogel® e a mistura foi batida em batedeira Planetária Deluxe da Arno em velocidade máxima fixa para todos os experimentos. A escolha do agente espumante, bem como suas concentrações de agente espumante (3%, 4% e 5% em massa), assim como os tempos de agitação (3, 4 e 5 minutos) foram definidos com base no trabalho de Barros (2018), para a elaboração do planejamento experimental fatorial completo 2^3 , a ser explicado no item 4.3.

3.4 CARACTERIZAÇÃO DA ESPUMA

3.4.1 Estabilidade

A estabilidade foi avaliada através do método citado por Karin e Wai (1999), onde uma quantidade de espuma (10 g) foi depositada em um funil com filtro de nylon em proveta graduada e colocados em estufa com circulação e renovação de ar SL – 102 da Solab, por 90 minutos, nas temperaturas de secagem (50, 60 e 70 °C) e o volume drenado anotado em

intervalos de 10 minutos, com cada teste realizado em triplicata. Essa análise baseia-se no fato de que a estabilidade da espuma é avaliada como inversamente proporcional ao volume de líquido drenado na proveta (SILVA FILHO, 2012; PINTO, 2009). Na Figura 3.2 é mostrado o esquema dos experimentos de estabilidade da espuma. Todos os experimentos foram feitos em triplicata.

Figura 3.2 – Esquema para determinação da estabilidade das espumas



3.4.2 Densidade

Para determinar a densidade aparente, colocou-se espuma em provetas de 100 mL e, ao preencher o volume total graduado na proveta, pesou-se o sistema, em balança semi analítica (marca Marte modelo AD2000) (Figura 3.2). O cálculo da densidade foi realizado de acordo com a Equação 3.1, que também é utilizada para calcular a densidade do suco. Todos os experimentos foram feitos em triplicata.

Figura 3.3 – Esquema para determinação da densidade da espuma.



$$\rho_{amostra} = \frac{m_{amostra}}{V_{proveta}} \quad (3.1)$$

Onde:

ρ = densidade da amostra (g/cm³);

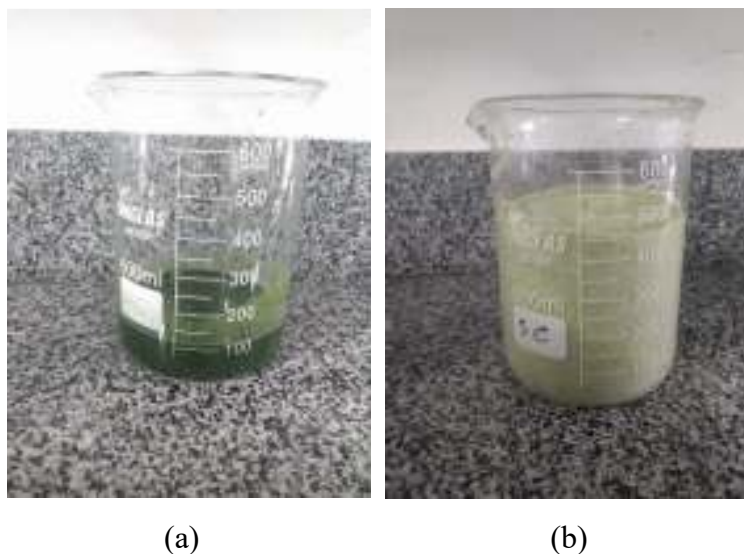
m = massa da amostra (g);

V = volume da proveta (cm³).

3.4.3 Capacidade de incorporação de ar (*over run*)

A quantidade de ar que é incorporada ao composto é avaliada relacionando os volumes da solução em um béquer antes de ser agitada (composto) e após submetida à rigorosa agitação (espuma), como mostrado na Figura 3.3. O cálculo foi realizado de acordo com a Equação 3.2. Todos os experimentos foram feitos em triplicata.

Figura 3.4 - Capacidade de incorporação de ar: (a) composto vegetal, antes da agitação e (b) após rigorosa agitação



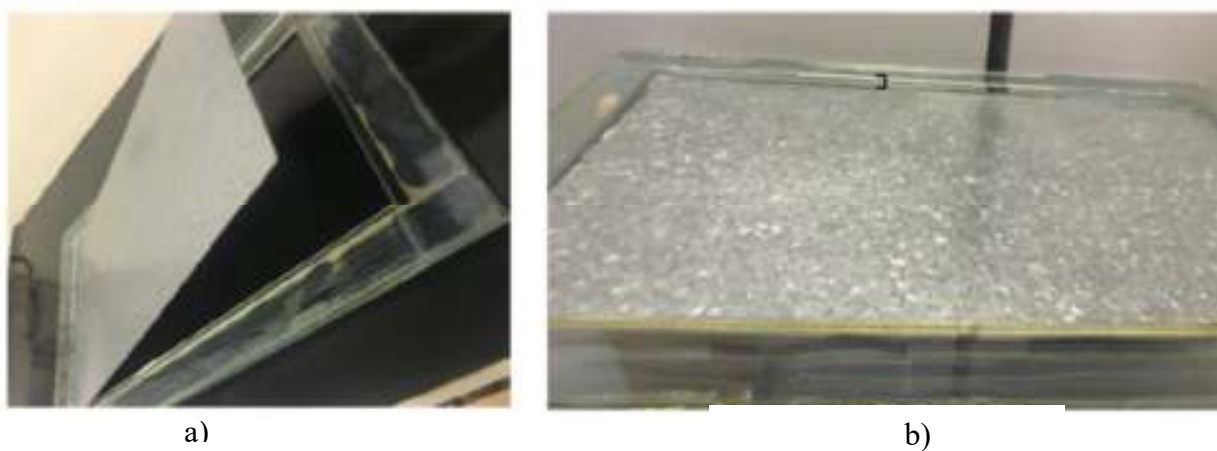
$$\% \text{ over run} = \frac{V_{\text{espuma}} - V_{\text{suco}}}{V_{\text{suco}}} \cdot 100\% \quad (3.2)$$

3.4 SECAGEM EM CAMADA DE ESPUMA

As espumas produzidas foram dispostas em bandejas com espessura fixa de 0,5 cm e colocadas em uma estufa com circulação de ar a diferentes temperaturas. A redução do teor de água foi determinada por pesagens da amostra em balança semi-analítica, em intervalos de tempos regulares, até que a massa se tornou constante e as amostras foram retiradas da estufa.

O material seco foi removido das bandejas com auxílio de espátulas, pesado e posteriormente acondicionado em sacos herméticos de polietileno onde permaneceram fechados até a realização das análises do pó.

Figura 3.5 - Bandeja utilizada para o processo de secagem: a) bandeja de fundo removível; b) espessura da bandeja



3.5 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

Os experimentos de secagem em camada de espuma para obtenção do pó das folhas do noni foram realizados de acordo com um planejamento experimental fatorial completo 2^3 com três repetições no ponto central. O planejamento foi adaptado dos testes preliminares feitos por Barros (2018).

O objetivo do planejamento foi avaliar a influência das variáveis independentes, concentração do agente espumante (C), tempo de agitação (t_{ag}) para a formação da espuma e a temperatura de secagem (T) aplicada.

Na Tabela 3.1 e 3.2 são mostradas as variáveis independentes e seus respectivos níveis e a matriz do planejamento experimental para os ensaios de secagem, respectivamente. As variáveis dependentes são o tempo de secagem e a umidade do pó obtido.

Tabela 3.1 – Variáveis independentes e seus respectivos níveis.

Variáveis	Níveis		
	-1	0	+1
Concentração do agente espumante (%)	3,0	4,0	5,0
Tempo de agitação (min)	3,0	4,0	5,0
Temperatura de secagem (°C)	50,0	60,0	70,0

Tabela 3.2 - Matriz experimental para os ensaios de secagem em camada de espuma.

Número do Experimento	Variáveis independentes		
	C (%)	t _{ag} (min)	T (°C)
1	-1 (3,0)	-1 (3,0)	-1 (50,0)
2	+1 (5,0)	-1 (3,0)	-1 (50,0)
3	-1 (3,0)	-1 (3,0)	+1 (70,0)
4	+1 (5,0)	-1 (3,0)	+1 (70,0)
5	-1 (3,0)	+1 (5,0)	-1 (50,0)
6	+1 (5,0)	+1 (5,0)	-1 (50,0)
7	-1 (3,0)	+1 (5,0)	+1 (70,0)
8	+1 (5,0)	+1 (5,0)	+1 (70,0)
9	0 (4,0)	0 (4,0)	0 (60,0)
10	0 (4,0)	0 (4,0)	0 (60,0)
11	0 (4,0)	0 (4,0)	0 (60,0)

C = concentração do espumante; t_{ag} = tempo de agitação; T = temperatura de secagem

Na análise estatística do planejamento experimental fatorial foi utilizado o pacote computacional STATISTICA 7.0. O programa foi empregado para cálculos dos efeitos principais e de interações das variáveis independentes sobre as respostas e para análise de variância (ANOVA), que testa a significância de um ou mais fatores comparando as médias das variáveis de resposta em diferentes níveis dos fatores.

3.6 CINÉTICA E AJUSTES MATEMÁTICOS

Para observar o comportamento do processo de secagem foram plotadas as curvas de cinética de secagem (RU *versus* tempo de secagem); a variável adimensional razão de umidade (RU) foi calculada através da Equação 3.3.

$$RU = \frac{X_{bs}}{X_{bs0}} \quad (3.3)$$

Onde:

X_{bs} = umidade em base seca;

X_{bs0} = umidade em base seca inicial.

A umidade em base seca pode ser determinada pela razão entre a água eliminada no processo e a massa de sólidos secos presente na amostra (Equação 3.4).

$$X_{bs} = \frac{(m_i - m_f)}{m_{ss}} \quad (3.4)$$

Onde:

m_i = massa inicial da amostra (g);

m_f = massa final (g);

m_{ss} = massa de sólidos secos da amostra (g).

Para o cálculo dos principais efeitos e interações possíveis das variáveis independentes sobre as respostas, utilizou-se o programa STATISTICA 7.0, no qual são realizadas análises para a determinação de quais efeitos foram significativos na cinética e nas caracterizações da espuma e do pó, em um intervalo de confiança de 95%.

Para o ajuste das curvas de secagem foram utilizadas as equações dos modelos matemáticos de secagem que estão descritos no Quadro 2.1 da Seção 2.3.3. Foi utilizado o método de Gauss-Newton, com regressão não linear, testando os modelos por meio da comparação de seus respectivos valores de coeficiente de determinação (R^2) e erro padrão de estimativa (SQ), onde o agrupamento dos experimentos foi dado pela variável temperatura.

3.7 CARACTERIZAÇÃO DOS PÓS OBTIDOS

3.7.1. Rendimento teórico

O rendimento teórico foi calculado pela razão entre a quantidade de pó obtido no final do processo de secagem e a quantidade de espuma inicialmente utilizada, como mostrado na Equação 3.5. As massas de pó e espuma foram obtidas por pesagem em balança semi analítica da marca Marte, modelo AD2000.

$$Rendimento (\%) = \frac{m_{pó}}{m_{espuma}} \cdot 100\% \quad (3.5)$$

Onde:

$m_{pó}$ = massa de pó obtido no final da secagem (g);

m_{espuma} = massa de espuma inicial (g);

3.7.2 Teor de sólidos solúveis totais (°Brix)

Uma suspensão foi feita com 10 mL de água destilada adicionados com 1 g de pó, sendo homogeneizado e deixado em repouso por 30 minutos. Após o período, o sistema foi centrifugado em centrífuga da marca Novatecnica por 5 minutos para que depositassem possíveis partículas que ainda tivessem dissolvidas na solução.

Da solução retirou-se uma alíquota para realizar a leitura em refratômetro de bancada da marca Nova *Instruments* ABBE *refractometer*, em temperatura ambiente (25°C) e calibrado com água destilada. A análise foi realizada em triplicata, onde os resultados foram expressos em °Brix e multiplicados por dez, devido à diluição.

3.7.3 Potencial hidrogeniônico (pH)

Com a mesma solução utilizada para a análise de teor de sólidos solúveis, realizou-se a sua filtração com o auxílio de papel filtro contendo algodão e, em seguida, a medição do pH. O pH foi medido em pHmetro de bancada da marca MS Tecnopon modelo Mpa-210, calibrado com soluções tampão de pH 4 e 7.

3.7.4 Solubilidade

A análise foi realizada com base nas modificações propostas por Cano-Chauca et al. (2005) no método de Eastman e Moore (1984). A metodologia consiste na diluição de 1 g de pó pela adição de 50 mL de água destilada sob agitação e homogeneização em vortex modelo AP 56 da marca Phoenix Luferco e motor de 3800 rpm. Centrifuga-se a solução em centrífuga da marca Novatecnica por 5 minutos a uma velocidade de 4500 rpm. Do sobrenadante retiram-se 12,5 mL e adiciona-se em placa de Petri, previamente tarada, para serem colocadas em estufa a 105 °C até total evaporação do líquido. Realizada em triplicata, a porcentagem de solubilidade em água foi obtida pela Equação 3.6.

$$Solubilidade (\%) = \frac{(m_{(residual)} - m_{(tara)}) \cdot V_{solução}}{V_{aliquota} \cdot m_{inicial}} \cdot 100\% \quad (3.6)$$

Onde:

$m_{residual}$ = massa do sistema após a evaporação (g);

m_{tara} = massa da placa de Petri vazia (g);

$m_{inicial}$ = massa inicial de pó que foi diluído (g);

$V_{solução}$ = volume total da solução (mL);

3.7.5 Atividade de água

A atividade de água foi realizada logo após a secagem através do medidor específico, modelo Novasina LabMaster-aw. As análises foram feitas em triplicata para todos os experimentos, pesando 0,5 g da amostra à temperatura de 30 °C.

3.7.6 Teor de cinzas

O teor de cinzas refere-se ao resíduo inorgânico remanescente da queima do material orgânico a altas temperaturas., onde adicionou-se 1 g do pó em cadinhos de porcelana, previamente tarados. O sistema foi mantido na mufla a uma temperatura de 550 °C por 4 horas, onde o teor de cinzas pôde ser encontrado pela diferença entre a massa inicial e após a queima. A análise foi realizada em triplicata (BRASIL, 2008)

3.7.7 Lipídios

A fração lipídica foi determinada a partir do método de Folch, que consiste em realizar a extração lipídica de 1 g da amostra com uma mistura clorofórmio:metanol (2:1) (v/v). Filtrou-se a solução e em seguida adicionou-se uma alíquota (20% do volume filtrado) de sulfato de sódio 1,5%, resultando em separação de fases. Descartou-se a fase superior e adicionou-se 5 mL da fase inferior na estufa a 90 °C até total evaporação do líquido. Os resíduos foram pesados e calculou-se a porcentagem de lipídios, de acordo com a Equação 3.10. A análise foi realizada em triplicata (BRASIL, 2008)

$$Lipídios (\%) = \frac{(m_{(residual)} - m_{(tara)}) \cdot V_{fase}}{5 \cdot m_{inicial}} \cdot 100\% \quad (3.7)$$

Onde:

$m_{residual}$ = massa do sistema após a evaporação (g);

m_{tara} = massa da placa de Petri vazia (g);

$m_{inicial}$ = massa inicial de pó (g);

V_{fase} = volume da fase inferior (mL).

3.7.8 Umidade

Para a determinação do teor de umidade do pó da folha de noni, foi utilizado o mesmo método para a determinação da umidade da espuma. Foi pesado aproximadamente 1 g da amostra em três cadinhos previamente pesados e levados à estufa de esterilização na temperatura de 105 °C durante 24 horas. Depois os cadinhos foram pesados e o valor anotado corresponde à massa de sólido seco, que é usada nas Equações 3.8 e 3.9 para o cálculo das umidades em base úmida e em base seca, respectivamente. A análise foi realizada em triplicata (BRASIL, 2008)

$$X_{(b.u.)} = \frac{(m_i - m_{ss})}{m_i} \quad (3.8)$$

$$X_{(b.s.)} = \frac{(m_i - m_{ss})}{m_{ss}} \quad (3.9)$$

Onde:

$X_{(b.u.)}$ = umidade em base úmida do pó

$X_{(b.s.)}$ = umidade em base seca do pó

m_i = massa inicial da amostra, g

m_{ss} = massa de sólido seco da amostra, g

3.7.9 Determinação da acidez total titulável (ATT)

Para a acidez por volumetria potenciométrica foram pesados 10 g do pó da folha do noni e transferido para um erlenmeyer de 125 mL, em seguida foi adicionado 90 mL de água destilada. Foram adicionadas 4 gotas de fenolftaleína, como indicador para ponto de viragem, e titulado com solução padrão de hidróxido de sódio 0,01N, até que ocorresse a mudança da coloração da amostra para o rosa. O cálculo da acidez foi feito pela Equação 3.10. A análise foi realizada em triplicata (BRASIL, 2008)

$$ATT = \frac{V * f * M * MM}{10 * P * n} \quad (3.10)$$

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

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

M = molaridade da solução de hidróxido de sódio;

P = massa da amostra (g);

MM = peso molecular do ácido cítrico;

f = fator de correção da solução de hidróxido de sódio;

n = número de hidrogênio ionizáveis

3.7.10 Determinação de ácido ascórbico

Os teores de ácido ascórbico foram determinados segundo as normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2008). As amostras foram pesadas e transferidas para um Erlenmeyer completando o volume para 50 mL com ácido oxálico 0,5% gelado. Em seguida foram agitadas por 5 minutos, filtradas com ajuda do filtro de nylon e tituladas com a solução de Tillmans até o ponto de viragem. O volume gasto na titulação e o peso da amostra foram aplicados na Equação 3.11.

$$\frac{\text{mg Ácido Ascórbico}}{100\text{ml ou g}} = \frac{\text{Vol.gasto} \times \text{Fator do corante} \times \text{Vol.total}}{\text{Aliquota titulada} \times \text{peso ou vol da amostra}} \times 100 \quad (3.11)$$

Padronização do corante: em um Erlenmeyer foi adicionado 5 mL da solução padrão de ácido ascórbico e adicionado 5 mL de ácido oxálico a 2%, utilizando pipetas diferentes para cada reagente. Essa mistura foi titulada com solução de corante até uma cor rosa que permanecesse por 15 segundos. O fator do corante foi determinado usando a Equação 3.12.

$$\text{Fator do corante} = \frac{0,5}{\text{volume gasto na titulação}} \quad (3.12)$$

3.8 LIOFILIZAÇÃO

O composto vegetal preparado com a folha do noni sem a adição do agente espumante, foi separado e congelado para posteriormente ser levado ao Laboratório de Ambientes Recifais e Biotecnologia com Microalgas – LARBIM/LEA/UFPB para passar pelo processo de secagem no liofilizador Terroni® LD1500 à -40 °C para conseguinte remoção da umidade que é feita por sublimação.

O pó obtido por liofilização foi usado nas caracterizações físico-químicas com o intuito de comparar com as análises dos experimentos do planejamento experimental, visando analisar possíveis influências do agente espumante.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ESPUMA

Para o processo de secagem em camada de espuma é de vital importância que se analise as interferências que as variáveis estudadas causam nas propriedades e no comportamento das espumas, como densidade, estabilidade e incorporação de ar. Como as espumas foram preparadas a temperatura ambiente, desprezou-se o seu efeito nas análises estatísticas, exceto para a estabilidade.

4.1.1 Estabilidade

De acordo com Thuwapanichayanan, Prachayawarakorn e Soponronnarit (2012), uma das maiores dificuldades da secagem em camada de espuma é a falta de estabilidade da espuma durante o processo de aquecimento, pois se ela não permanecer estável, ocorre desagregação, o que inviabiliza a secagem. Em regra, as espumas que não colapsam no mínimo por 1 hora são consideradas termicamente estáveis para serem utilizadas no processo de secagem (BAG, SRIVASTAV e MISHRA, 2011).

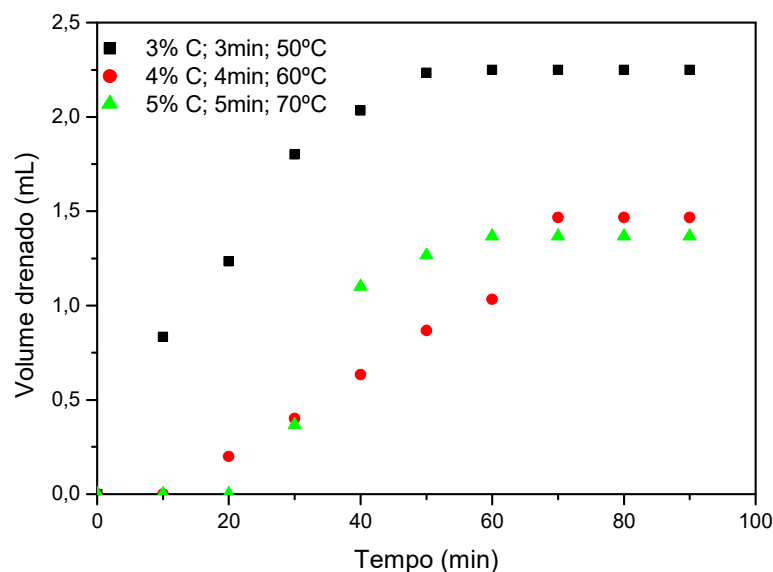
Um dos fatores que influenciam fortemente a estabilidade da espuma é a quantidade de sólidos solúveis presentes no agente espumante. Em geral, se o teor de sólidos solúveis for baixo, necessita-se de uma quantidade maior de agente espumante para garantir uma boa estabilidade (JANGAM, LAW e MUJUMDAR, 2010).

Diante disso, realizou-se a análise para as condições extremas (fatoriais máximo e mínimo) e centrais das variáveis independentes do planejamento experimental. O comportamento da estabilidade foi observado por 90 minutos, como mostrado na Figura 4.1.

Sabendo que a estabilidade da espuma é inversamente proporcional ao volume de líquido drenado, na Figura 4.1 observa-se que a espuma com maior estabilidade é a que foi submetida às condições máximas (5% de agente espumante; 5 minutos de agitação; 70 °C), onde nos primeiros 20 minutos teve um volume insignificante de líquido drenado e finalizando a análise com drenagem de 1,3 mL de líquido.

A espuma com a menor estabilidade (maior volume de líquido drenado) foi a formada nas condições mínimas (3% de agente espumante; 3 minutos de agitação; 50 °C) que obteve um escoamento de 2,25 mL de líquido, que se manteve constante.

Figura 4.1 – Análise da estabilidade da espuma da folha do noni



Para as condições centrais (4% de agente espumante; 4 minutos de agitação; 60 °C), não houve um desprendimento de líquido significativo até os primeiros 30 minutos, sendo seu volume máximo de 1,46 mL de líquido drenado aos 70 minutos e se mantendo constante até o final do tempo de análise.

Leite (2018) avaliou a estabilidade da espuma da folha de hortelã (*Mentha crispa*) e obteve, nas condições mínimas (3% de agente espumante no suco; 3 minutos de tempo de agitação; 50° C de temperatura na estufa), 6,5mL de líquido drenado. Para as condições máximas (7% de agente espumante; 7 minutos de tempo de agitação; 70°C de temperatura na estufa), foi aproximadamente 1mL. O tempo de análise foi de 90 minutos e o agente espumante utilizado foi Portogel®

Oliveira (2018) estudou a estabilidade da espuma do suco da folha de graviola e obteve nas condições mínimas (3% de espumante, 3 minutos e 50°C), um volume drenado de aproximadamente 2,5mL em um tempo de análise de 60 minutos. Para as condições do ponto central (4% de espumante, 4 minutos e 60°C), o volume drenado foi de 2,6mL sendo estável a partir dos 50 minutos. Para as condições máximas do planejamento (5% de espumante, 5 minutos, 70°C) o volume de líquido drenado da espuma foi de 4,4mL. O espumante utilizado foi o Portogel®.

Nascimento (2018) avaliou a estabilidade da espuma do fruto do noni e obteve para o ponto mínimo (2% de espumante, 2 minutos, 50 °C) um volume drenado de aproximadamente 3mL. Para as condições de ponto central (4% de espumante, 4 minutos, 60 °C) foram

drenados 4,8mL de líquido da espuma. Para o ponto máximo do planejamento (6% de espumante, 6 minutos e 70 °C) o volume drenado foi de aproximadamente 2,5 mL. A análise foi feita por 90 minutos e o agente espumante utilizado foi o Portogel®.

Com base nos outros estudos acima citados, o volume drenado da espuma do suco da folha do noni foi considerado satisfatório, apresentando boa estabilidade para o experimento de secagem em camada de espuma. O maior volume drenado foi de aproximadamente 2,25 mL nas condições mínimas, e o de menor valor nas condições máximas, drenando aproximadamente 1,3 mL. O que aponta para forte influência das variáveis concentração de espumante e tempo de agitação frente a temperatura. Estudos posteriores podem comprovar essa afirmação a partir de uma análise estatística mais aprofundada.

4.1.2 Densidade

A análise foi realizada à temperatura ambiente (25 °C), variando a concentração de espumante e tempo de agitação de acordo os níveis máximo, mínimo e central do planejamento. Os valores das densidades das espumas (g/cm³) para cada experimento são mostrados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Valores da Densidade para a espuma do suco da folha de noni.

Experimento	Densidade (g/cm ³)
-1 (3%, 3 min)	23,08 ± 0,71
0 (4%, 4 min)	15,46 ± 0,39
1 (5%, 5 min)	15,16 ± 1,34

Pela Tabela 4.1, observou-se que para um aumento dos valores das variáveis independentes houve uma diminuição nos valores de densidade das espumas. Mesmo não sendo linear o decréscimo da densidade da espuma no planejamento experimental, em geral, obteve-se valores baixos para as densidades, o que facilita durante o processo de secagem, pela fácil remoção de água e maior estabilidade (KUDRA e RATTI, 2006).

Durante o processo de agitação, o ar é incorporado ao líquido como bolhas, devido ao aumento na taxa de cisalhamento. Isso leva a uma diminuição da densidade da espuma à medida que o tempo de agitação aumenta (THUWAPANICHAYANAN, PRACHAYAWARAKORN e SOPONRONNARIT, 2008). Entretanto, indica que o aumento

da viscosidade do líquido dificulta a interação do ar durante a mistura, podendo influenciar na densidade da espuma (BAG, SRIVASTAV e MISHRA, 2011).

4.1.3 Capacidade de incorporação de ar

Os valores para a análise de incorporação de ar foram realizados para os níveis máximo, mínimo e central do planejamento e estão expressos em porcentagem na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Análise da capacidade de incorporação de ar (Over run)

Experimento	Oven run (%)
-1 (3%, 3 min)	325,13
0 (4%, 4 min)	584,58
1 (5%, 5 min)	593,16

Pelos dados da Tabela 4.2, observou-se um comportamento já esperado de acordo com a literatura, quanto maior a concentração do agente espumante e tempo de agitação, maior a capacidade de incorporação de ar.

Karim e Wai (1999) também observaram o aumento na incorporação de ar da espuma com o aumento da quantidade de emulsificante, onde utilizaram o methocel em seu estudo da secagem em camada de espuma da carambola (*Averrhoa carambola* L.).

Feitosa et al. (2018), em seu estudo sobre a influência do tempo de batimento na qualidade da espuma de polpa de murta, também concluiu que a incorporação de ar de sua espuma crescia com o aumento do tempo de agitação.

Complementando a análise, observou-se que os maiores valores de incorporação de ar foram das espumas com menores densidades. O prolongamento do tempo de agitação afeta diretamente na quantidade de compostos voláteis presentes na espuma, causando o desprendimento dos mesmos. Com a redução da densidade, diminui-se a tensão superficial, aumentando a quantidade de ar que se incorpora na estrutura da suspensão (FRANCO, 2015; THUWAPANICHAYANAN, PRACHAYAWARAKORN e SOPONRONNARIT, 2012). Uma maior incorporação de ar (consequentemente menor densidade) facilita a retirada de água e torna mais rápida a secagem em camada de espuma (SOARES, 2009).

4.2 SECAGEM EM CAMADA DE ESPUMA

4.2.1 Planejamento experimental fatorial completo para análise estatística da secagem em camada de espuma

Os resultados obtidos das variáveis dependentes (tempo final de secagem em minutos e umidade final em base seca) para cada experimento do planejamento experimental estão apresentados na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 - Resultados das variáveis dependentes para cada experimento de secagem.

Experimento	Variáveis independentes			Variáveis dependentes	
	C _{esp} (%)	t _{ag} (min)	T (°C)	t _{secagem} (min)	X _{bs(final)}
1	3	3	50	330	0,014
2	5	3	50	300	0,111
3	3	5	50	260	0,116
4	5	5	50	180	0,451
5	3	3	70	140	0,435
6	5	3	70	150	0,487
7	3	5	70	170	0,066
8	5	5	70	120	0,115
9	4	4	60	210	0,046
10	4	4	60	150	0,140
11	4	4	60	210	0,186

Tempo final de secagem

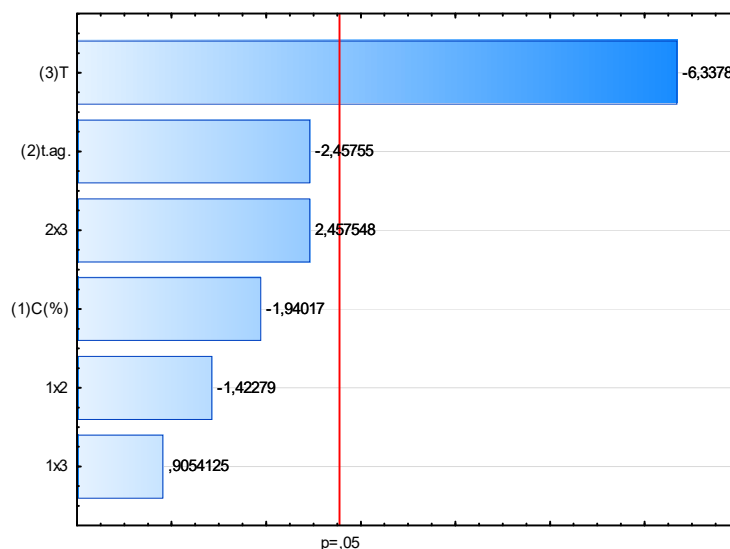
Pelos dados apresentados na Tabela 4.3, observou-se que o menor tempo de secagem foi encontrado no experimento 8 (5% de agente espumante, 5 minutos de agitação e 70 °C) com um valor de 120 minutos. O maior tempo de secagem foi de 330 minutos, correspondente ao experimento 1 (3% de agente espumante, 3 minutos de agitação e 50 °C).

O experimento de menor tempo de secagem foi o que exibiu a menor densidade da espuma, e incorporação de ar da espuma. Essas características comprovam a importância da caracterização física da espuma para esse processo específico de secagem, pois quanto mais

leve e estável a espuma for, mais fácil retira-se a umidade do sistema, realizando a secagem em um menor tempo e conservando as propriedades físico-químicas do material.

O diagrama de Pareto foi utilizado como análise estatística para avaliar a influência das variáveis no tempo de secagem, como mostrado na Figura 4.2.

Figura 4.2 - Diagrama de Pareto do tempo final de secagem



Pela análise da Figura 4.2, percebe-se que a única variável que afetou significativamente o tempo final de secagem foi a temperatura de secagem (T), em um intervalo de confiança de 95%.

A temperatura de secagem exerce uma influência de sinal negativo (-6,33789) na variável dependente, significando que quanto maior a temperatura utilizada, menor será o tempo de secagem. Isso ocorre porque a transferência de calor aumenta conforme a temperatura, retirando uma maior umidade do material e secando mais rapidamente. A temperatura máxima de secagem de cada material específico precisa ser escolhida priorizando a manutenção da qualidade final do produto (STRUMILLO E KUDRA, 1986).

Pela análise estatística, a partir de regressão linear dos dados experimentais do processo, gerou-se o modelo estatístico que representa a dependência entre as variáveis significativas, apresentado na Equação 4.1

$$t_{secagem} = 201,818 - 122,500 \cdot T \quad (4.1)$$

O modelo possui um coeficiente de determinação de 93,63% e um erro padrão de 747,1591, em um intervalo de confiança de 95%.

Nas Figuras 4.3, 4.4 e 4.5 são apresentadas as superfícies de resposta obtidas na análise estatística do tempo de secagem, mantendo constante em seu valor médio a concentração de agente espumante, o tempo de agitação e a temperatura de secagem, respectivamente.

Figura 4.3 -Superfície de resposta com o tempo de agitação constante

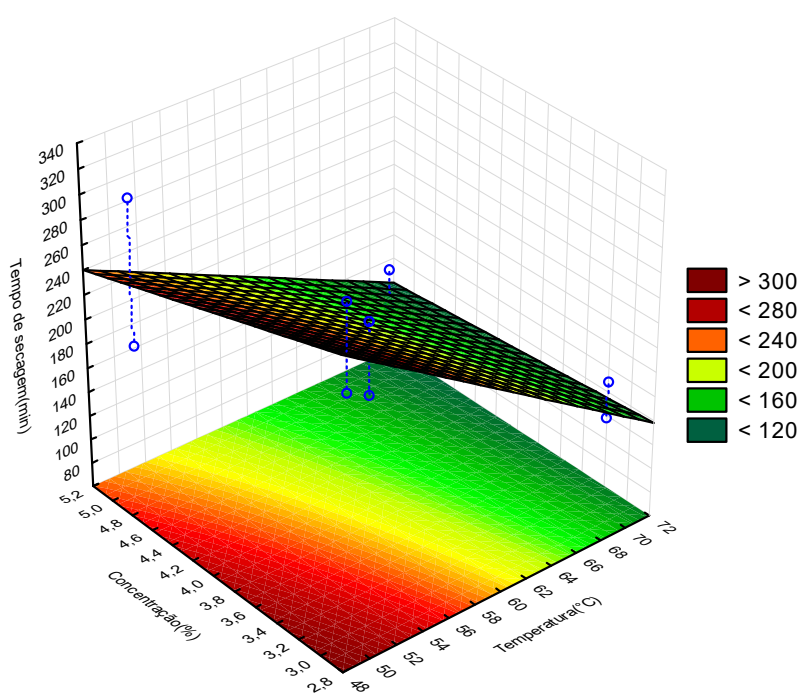
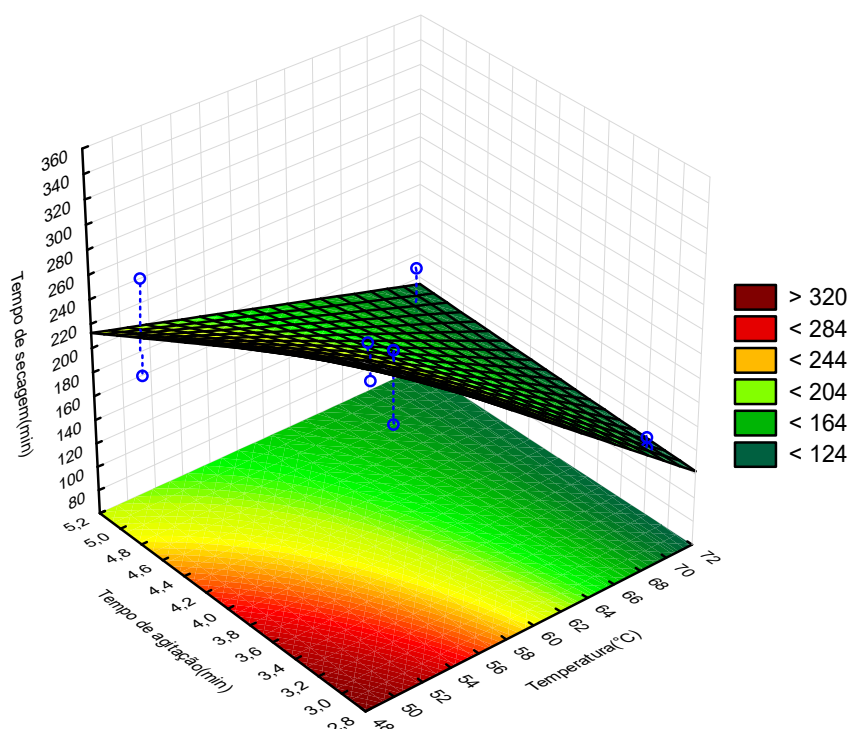
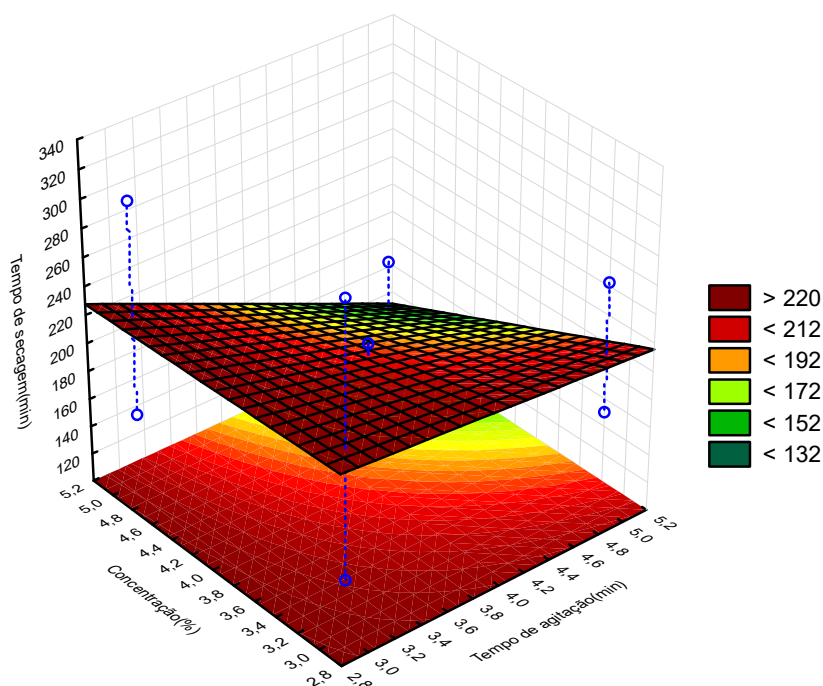


Figura 4.4 - Superfície de resposta com a concentração de espumante constante



A partir das Figuras 4.3 e 4.4, foi possível observar que tanto para o tempo de agitação quanto para a concentração de espumante constantes, a temperatura de secagem exerce influência significativamente no tempo de secagem, como mostrada no diagrama de Pareto (Figura 4.2), com sinal negativo, destacando que quanto maior a temperatura, menor o tempo de secagem. As variáveis concentração de agente espumante e tempo de agitação não apresentaram influência significativa na resposta, não obtendo grande variação entre seu valor mínimo e máximo.

Figura 4.5 - Superfície de resposta com a temperatura de secagem constante



Pela Figura 4.5 percebeu-se que mantendo a temperatura constante, o tempo de agitação e a concentração do agente espumante exercem pouca influência sobre o tempo final de secagem, como já mostrado no diagrama de Pareto tais variáveis não foram estatisticamente significativas para o processo.

As interações entre as variáveis independentes também não apresentaram significância estatística. Sendo assim, os melhores resultados para o processo de secagem em camada de espuma da folha do noni são encontrados para o maior valor de temperatura possível sem que o produto final seja danificado.

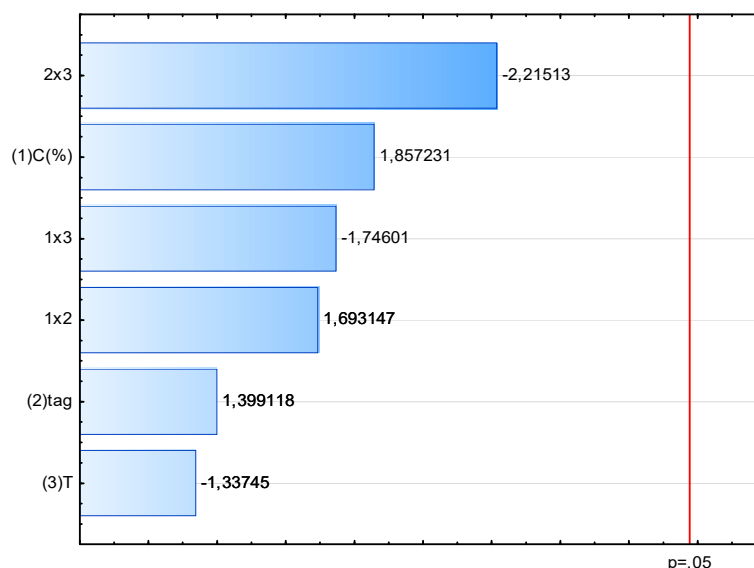
Umidade final em base seca

Para a umidade final de base seca, o seu menor valor foi encontrado no experimento 1 (3% de agente espumante, 3 minutos de agitação e 50 °C), e o maior valor no experimento 4 (5% de agente espumante, 5 minutos de agitação e 50 °C). A menor umidade foi encontrada no experimento com maior tempo de secagem, o que aponta para uma relação de proporcionalidade entre tempo de secagem e umidade final. Quanto mais tempo a bandeja

permanece na estufa maior a quantidade de água retirada da amostra, portanto menor umidade.

Pela análise estatística do diagrama de Pareto mostrado na Figura 4.6, nenhuma das variáveis independentes, nem suas interações, apresentaram significância estatística para a variável resposta umidade final de base seca. Ou seja, uma vez que as variações do ponto mínimo, máximo e central do planejamento não diferem entre si para a umidade, podendo-se escolher a condição mínima das variáveis independentes, cuja vantagem é a redução do gasto energético e uma menor interferência do agente espumante no produto final.

Figura 4.6 - Diagrama de Pareto para a umidade em base seca



4.2.2 Cinética de secagem

As curvas da cinética de secagem da folha de noni em camada de espuma foram obtidas a partir da razão de umidade (X_{bs}/X_{bs0}) em função do tempo de secagem (minutos) para as temperaturas utilizadas no estudo, 50°C, 60°C e 70°C. Pela análise das curvas observou-se que em todos os experimentos inicialmente ocorreu um período de taxa constante, seguido por um período de taxa decrescente, onde a umidade vai atingindo seu valor de equilíbrio. Segundo Strumillo e Kudra (1986) a secagem de alimentos comporta-se com um período de taxa constante que pode ou não ser precedido de um período de taxa decrescente.

As curvas da cinética de secagem para as temperaturas de 50°C, 60°C e 70°C são apresentadas nas Figuras 4.7, 4.8 e 4.9, respectivamente.

Figura 4.7 - Cinética de secagem em camada de espuma da folha do noni na temperatura de 50 °C.

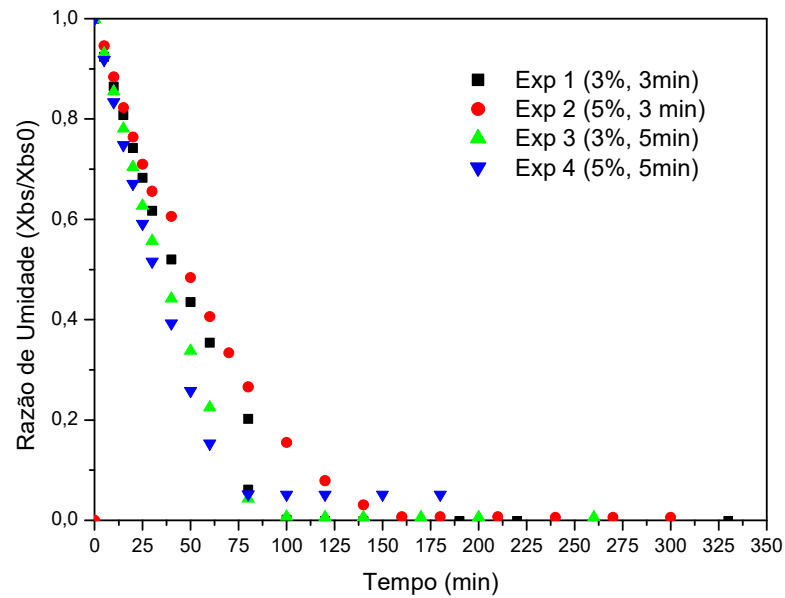


Figura 4.8 - Cinética de secagem em camada de espuma da folha do noni na temperatura de 60 °C.

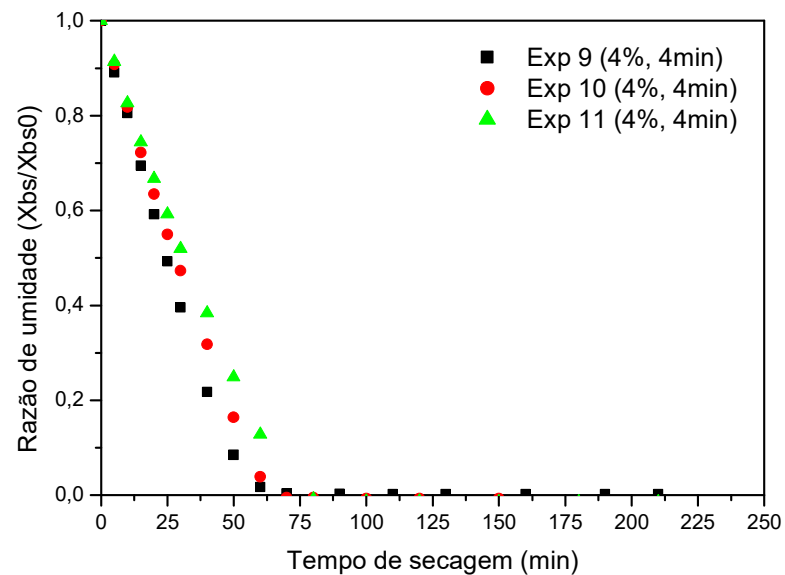
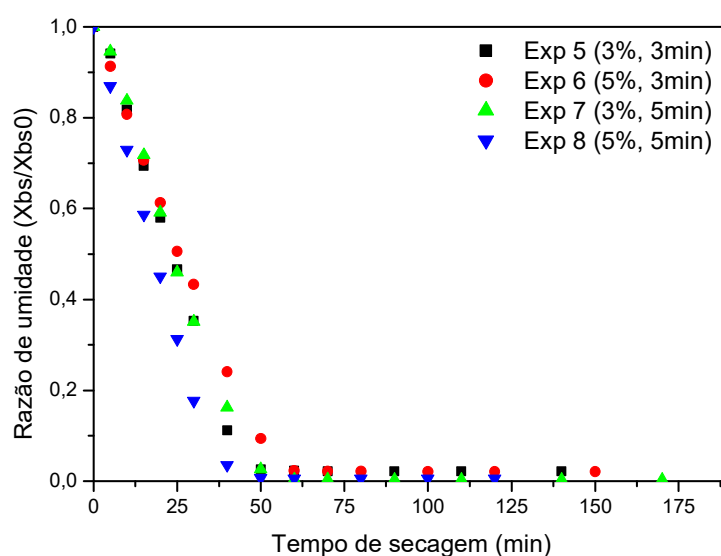


Figura 4.9 - Cinética de secagem em camada de espuma da folha do noni na temperatura de 70 °C.



Os experimentos realizados apresentam comportamentos semelhantes. Com os resultados obtidos, comprovou-se que os experimentos com menores tempos de secagem foram realizados nas condições de temperatura máxima do planejamento (70°C), onde o menor tempo de secagem foi de 120 minutos para o experimento 8. E na mínima temperatura do planejamento (50°C) obteve-se os maiores tempos de secagem, onde o tempo máximo foi de 330 minutos no experimento 1. Esse comportamento é natural, visto que o acréscimo da temperatura aumenta a transferência de calor entre o material e o ar, fazendo com que a evaporação da água contida na espuma ocorra mais rapidamente.

Oliveira (2018) em seu estudo da cinética de secagem em camada de espuma da folha da graviola, também observou que com o aumento da temperatura diminuiu-se o tempo de secagem. Obteve o menor tempo de secagem de aproximadamente 180 minutos para a temperatura de 70°C e o maior tempo de secagem de 300 minutos na temperatura de 50°C. Por esses resultados, conclui-se que a técnica de secagem em camada de espuma facilita a remoção de água do material, se tornando mais simples e com menos tempo de secagem.

Uma boa reprodutibilidade foi observada na Figura 4.3 na curva cinética relativa ao ponto central, com uma variação de 150 a 210 minutos de tempo final de secagem, sendo dois destes coincidindo em 210 minutos e com razões de umidade muito próximas.

Nas Figuras 4.10, 4.11 e 4.12 são apresentadas as taxas de secagem ($\text{g}/\text{cm}^2\text{min}$) em função da umidade em base seca (X_{bs}) para os experimentos nas temperaturas de 50°C , 60°C e 70°C , respectivamente.

Figura 4.10 - Taxa de secagem em função da umidade em base seca para os experimentos na temperatura de 50°C .

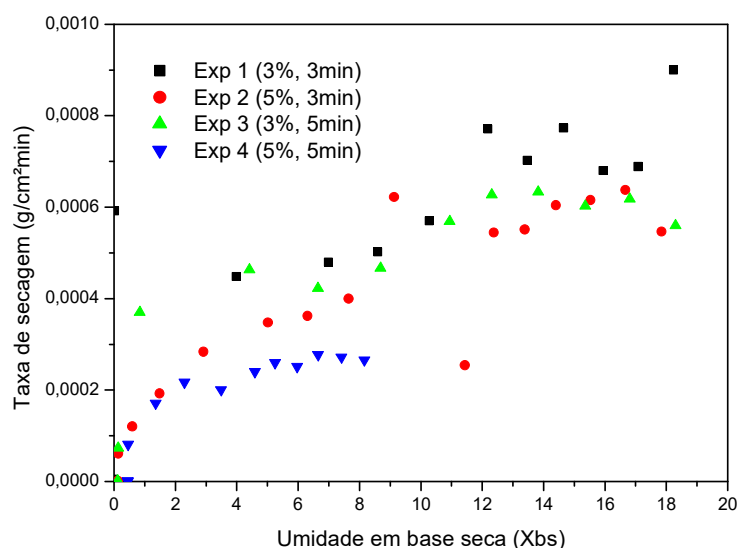


Figura 4.11 - Taxa de secagem em função da umidade em base seca para os experimentos na temperatura de 60°C .

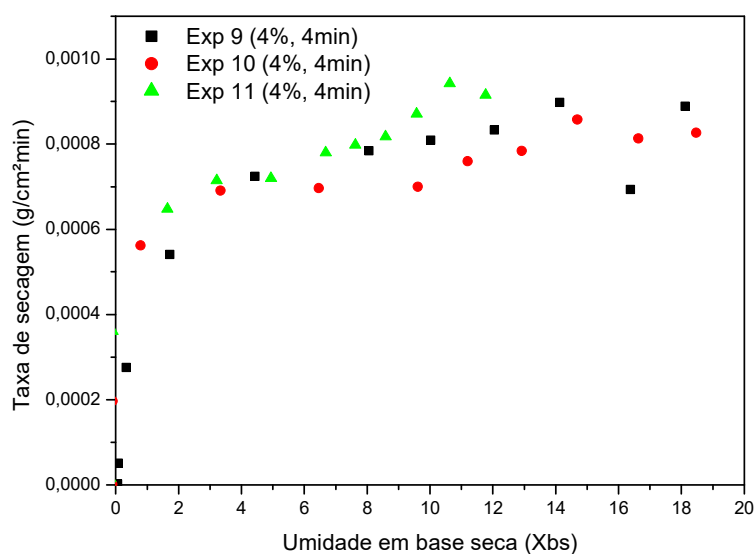
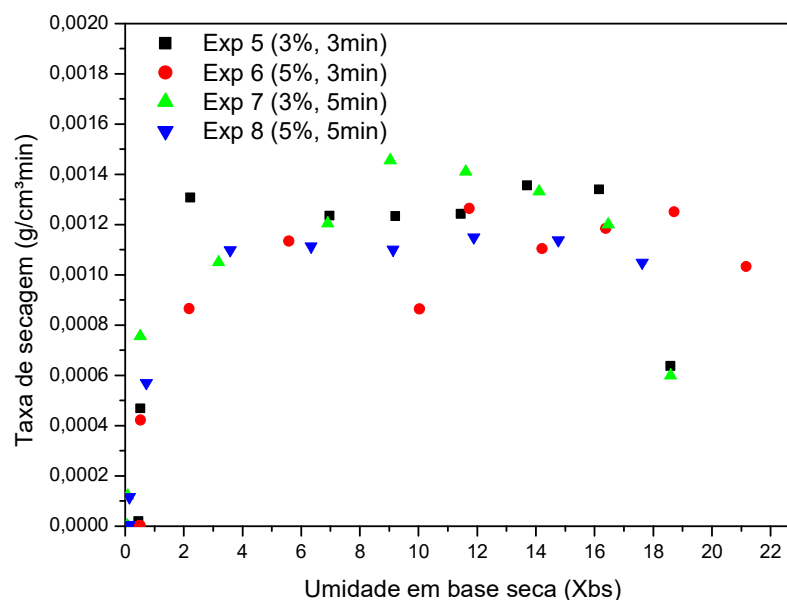


Figura 4.12 - Taxa de secagem em função da umidade em base seca para os experimentos na temperatura de 70°C.



Pela análise das curvas de taxa de secagem observou-se que as maiores taxas de secagem foram apresentadas nos experimentos realizados na temperatura de 70°C e a taxa foi decrescendo à medida que se diminuiu a temperatura de secagem. Esse comportamento comprova o estudo de Keey (1992) que afirma que maiores temperaturas promovem uma taxa de secagem mais elevada. Além disso, observa-se um maior período de taxa constante nos processos e um curto período de taxa decrescente para uma faixa entre 0 e 1 da umidade em base seca, confirmando a análise da cinética de secagem em todas as temperaturas analisadas.

4.3.2 Ajustes dos dados experimentais da secagem da folha da noni

Foram considerados alguns critérios para a definição dos melhores modelos matemáticos que se ajustarem aos dados experimentais da secagem da folha do noni, a saber:

1. Inferência sobre o modelo usando o teste F :
 - Cálculo da distribuição $F_{significância} = p\text{-value}$: Fornecido no Statistica 7.
 - Teste de hipótese: $F_{significância} < p = 0,05$, o modelo proposto é estatisticamente significativo. Caso contrário, descartar o modelo proposto, pois não existe relação entre a variável dependente e as variáveis independentes.

2. Existem três maneiras de verificar se os coeficientes são estatisticamente significativos ao nível de confiança de 95% ou nível de significância de 5%:
 - Limite inferior e superior do coeficiente contém zero. Em caso afirmativo, há justificativas para descartar esse coeficiente;
 - p -level do Statistica 7 é maior que 0,05. Em caso afirmativo, há justificativas para descartar esse coeficiente;
 - Valor crítico da distribuição t de Student é maior que t -value fornecido pelo o Statistica 7. Caso afirmativo, há justificativas para descartar esse coeficiente.

Na Tabela 4.4 são mostrados os coeficientes encontrados para as equações de cada um dos modelos de cinética de secagem testado, com seus respectivos coeficientes de determinação (R^2) e soma quadrática residual (SQ) para a temperatura de 50 °C. Com exceção do modelo de Midilli, Kucuk e Yapar devido ao coeficiente b não ser estatisticamente significativo (p -level > 0,05) a um nível de confiança de 95 % e de significância de 0,05.

Tabela 4.4- Resultados dos ajustes aos modelos estudados na temperatura de 50°C

Modelo	Parâmetros dos modelos matemáticos						
	k	n	a	B	C	R^2	SQ
Newton	0,019605	-	-	-	-	0,964252	0,296313
Page	0,006939	1,271175	-	-	-	0,976568	0,194218
Page Modificado	0,005459	1,325308	0,978772	-	-	0,976913	0,191362
Henderson e Pabis	0,021031	-	1,055450	-	-	0,968220	0,263418
Logaritmo	0,019049	-	1,091567	-	-0,046761	0,970981	0,240533

De acordo com a Tabela 4.4 verificou-se que os modelos podem ser utilizados para representar o processo de secagem em camada de espuma da folha de noni pois estes apresentaram altos valores para o coeficiente de determinação (R^2) e baixo erro padrão (SQ). Os que tiveram os melhores ajustes aos dados experimentais na temperatura de 50 °C foram os modelos de Page Modificado ($R^2= 0,976913$; $SQ= 0,191362$), seguido do modelo de Page ($R^2= 0,976568$; $SQ= 0,194218$).

As equações ajustadas dos modelos que apresentaram coeficientes estatisticamente significativos estão representadas na Tabela 4.5.

Tabela 4.5 - Equações dos modelos matemáticos estatisticamente significativos à cinética de secagem na temperatura de 50°C

Modelo	Equação do ajuste matemático
Newton	$RU = \exp (-0,019609 \cdot t)$
Page	$RU = \exp (-0,006939 \cdot t^{1,271175})$
Page Modificado	$RU = 0,978772 \cdot \exp (-0,005459 \cdot t^{1,325308})$
Henderson e Pabis	$RU = 1,055450 \cdot \exp (-0,021031 \cdot t)$
Logaritmo	$RU = 1,091567 \cdot \exp (-0,019049 \cdot t) - 0,046761$

t - tempo de secagem (min); k - coeficiente de secagem; a , n e b e c - parâmetros dos modelos; RU - Razão de Umidade = X/X_0

As curvas de secagem com os melhores ajustes dos modelos matemáticos estão representadas nas Figuras 4.13, Page Modificado e 4.14, Page por ordem de prioridade de maior valor para o coeficiente de determinação (R^2). Os modelos de Newton, Henderson e Pabis e Logaritmo constam no APÊNDICE A.

Figura 4.13 - Ajuste para o modelo de Page Modificado na temperatura de 50°C

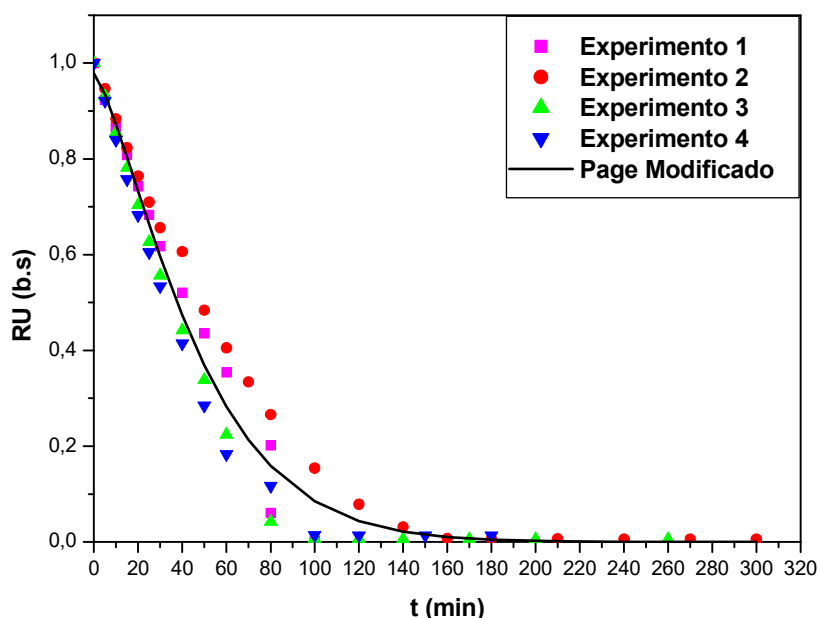
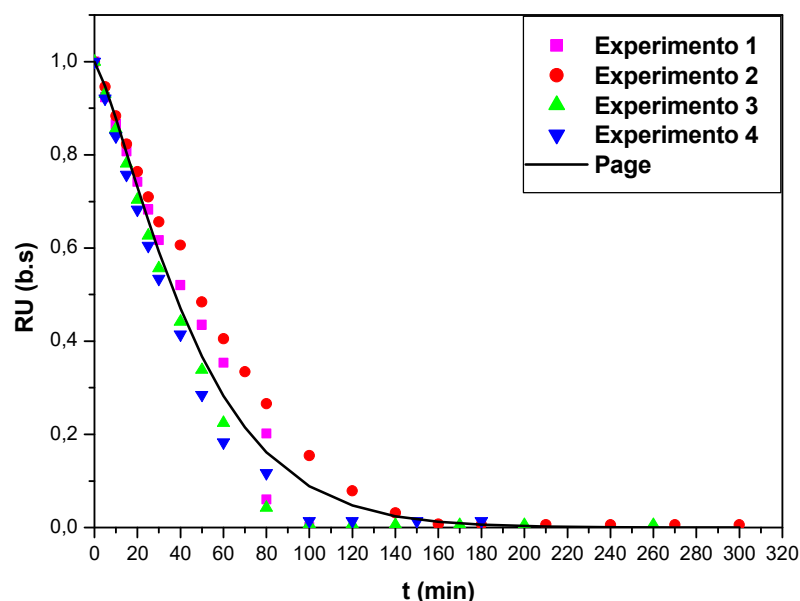


Figura 4.14 - Ajuste para o modelo de Page na temperatura de 50°C



Os coeficientes encontrados para as equações de cada um dos modelos testados, com seus respectivos coeficientes de determinação (R^2) e soma quadrática residual (SQ) para a temperatura de 60 °C estão descritos na Tabela 4.6. Dois modelos foram descartados, o modelo de Logaritmo que fornece valores sem sentido físico (valores negativos) para tempos maiores que 107 minutos e o de Midilli, Kucuk e Yupar que possui valor de coeficiente b não estatisticamente significativo a um nível de confiança de 95 % e de significância $\alpha = 0,05$, ou seja, ($p\text{-level} = 0,987264 > 0,05$).

Tabela 4.6 - Resultados dos ajustes aos modelos testados na temperatura de 60°C

Modelo	Parâmetros dos modelos matemáticos				
	k	n	a	R^2	SQ
Newton	0,029354	-	-	0,96168230	0,23922206
Page	0,005600	1,472667	-	0,98762075	0,07728517
Page Modificado	0,003667	1,578895	0,964645	0,98849683	0,07181566
Henderson e Pabis	0,032012		1,080568	0,96831790	0,19779519

Os modelos representados podem ser utilizados para comprovar o processo de secagem em camada de espuma da folha do noni, pois eles apresentaram altos valores para o coeficiente de determinação (R^2) e baixo erro padrão (SQ). Na temperatura de 60 °C os que

tiveram melhores ajustes aos dados experimentais foram os modelos de Page Modificado ($R^2=0,98849683$; $SQ=0,07181566$), seguido do modelo de Page ($R^2=0,98762075$; $SQ=0,07728517$).

As equações ajustadas dos modelos que apresentaram coeficientes estatisticamente significativos estão representadas na Tabela 4.7.

Tabela 4.7 - Equações dos modelos matemáticos estatisticamente significativos à cinética de secagem na temperatura de 60°C

Modelo	Equação do ajuste matemático
Newton	$RU = \exp(-0,029354 \cdot t)$
Page	$RU = \exp(-0,005600 \cdot t^{1,472667})$
Page Modificado	$RU = 0,964645 \cdot \exp(-0,003667 \cdot t^{1,578895})$
Henderson e Pabis	$RU = 1,080568 \cdot \exp(-0,032012 \cdot t)$

t - tempo de secagem (min); k - coeficiente de secagem; a , n e b - parâmetros dos modelos; RU - Razão de Umidade = X/X_0

As curvas de secagem com os melhores ajustes dos modelos matemáticos para a temperatura de 60 °C estão representadas nas Figuras 4.15, Page Modificado e 4.16, Page por ordem de prioridade de maior valor para o coeficiente de determinação (R^2). Os modelos de Newton e Henderson e Pabis constam no APÊNDICE B.

Figura 4.15 - Ajuste para o modelo de Page Modificado na temperatura de 60°C

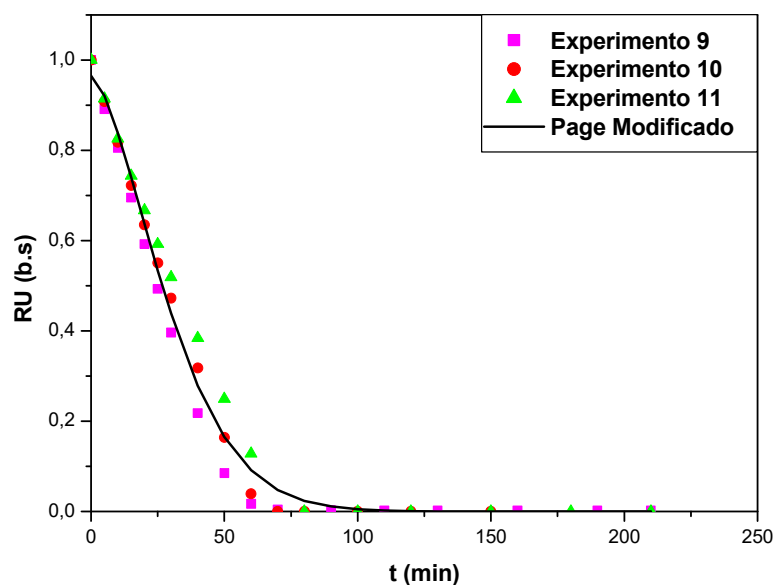
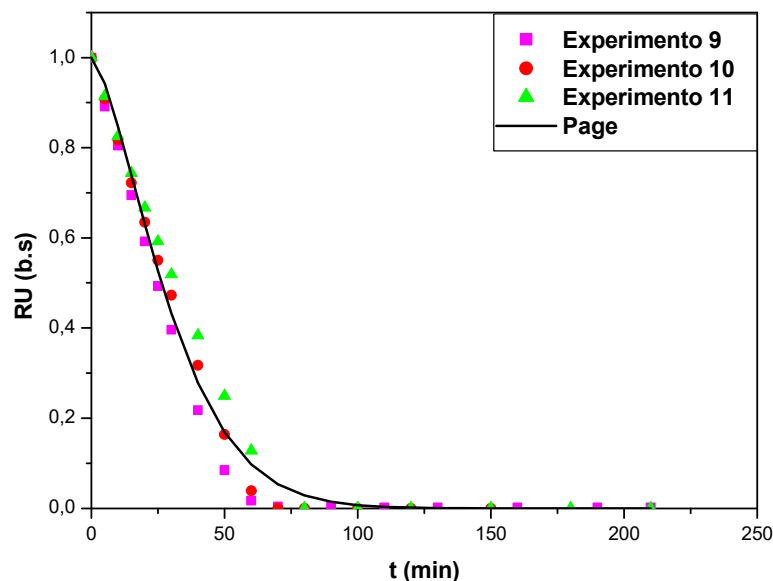


Figura 4.16 - Ajuste para o modelo de Page na temperatura de 60°C



Os parâmetros encontrados para as equações de cada um dos modelos, para a temperatura de secagem de 70 °C, são mostrados na Tabela 4.8, com seus respectivos coeficientes de determinação (R^2) e erro padrão da estimativa (SQ).

Tabela 4.8 - Resultados dos ajustes aos modelos testados na temperatura de 70°C.

Modelo	Parâmetros dos modelos matemáticos				
	k	n	a	R^2	SQ
Newton	0,036468			0,94499951	0,41138214
Page	0,004679	1,624084		0,98165469	0,13721572
Page Modificado	0,003683	1,688741	0,980240	0,98194787	0,13502284
Henderson e Pabis	0,040331		1,100105	0,95496609	0,33683605

De acordo com a Tabela 4.8, os modelos matemáticos que apresentaram melhores resultados são os de Page Modificado ($R^2= 0,98194787$; $SQ= 0,13502284$), seguido do modelo de Page ($R^2= 0,98165469$; $SQ= 0,13721572$), com valores de coeficientes de determinação (R^2) e soma quadrática residual (SQ) bem próximos.

Ainda foram analisados mais dois modelos matemáticos, ambos descartados. O modelo de Logaritmo que fornece valores sem sentido físico (valores negativos) para tempos maiores que 85 minutos. E o modelo de Midilli, Kucuk e Yupar em que seus coeficientes k

($p\text{-level} = 0,058327 > 0,05$) e b ($p\text{-level} = 0,894725 > 0,05$) não são estatisticamente significativos a um nível de confiança de 95 %.

As equações ajustadas dos modelos que apresentaram coeficientes estatisticamente significativos estão apresentadas na Tabela 4.9.

Tabela 4.9 - Equações dos modelos matemáticos estatisticamente significativos à cinética de secagem na temperatura de 70°C

Modelo	Equação do ajuste matemático
Newton	$RU = \exp (-0,036468 \cdot t)$
Page	$RU = \exp (-0,004679 \cdot t^{1,624084})$
Page Modificado	$RU = 0,980240 \cdot \exp (-0,003683 \cdot t^{1,688741})$
Henderson e Pabis	$RU = 1,100105 \cdot \exp (-0,040331 \cdot t)$

t - tempo de secagem (min); k - coeficiente de secagem; a , n e b - parâmetros dos modelos; RU - Razão de Umidade = X/X_0

As curvas de secagem com os melhores ajustes dos modelos matemáticos para a temperatura de 70 °C estão representadas nas Figuras 4.17, Page Modificado e 4.18, Page. Os modelos de Newton e Henderson e Pabis constam no APÊNDICE C.

Figura 4.17 - Ajuste para o modelo de Page Modificado na temperatura de 70°C

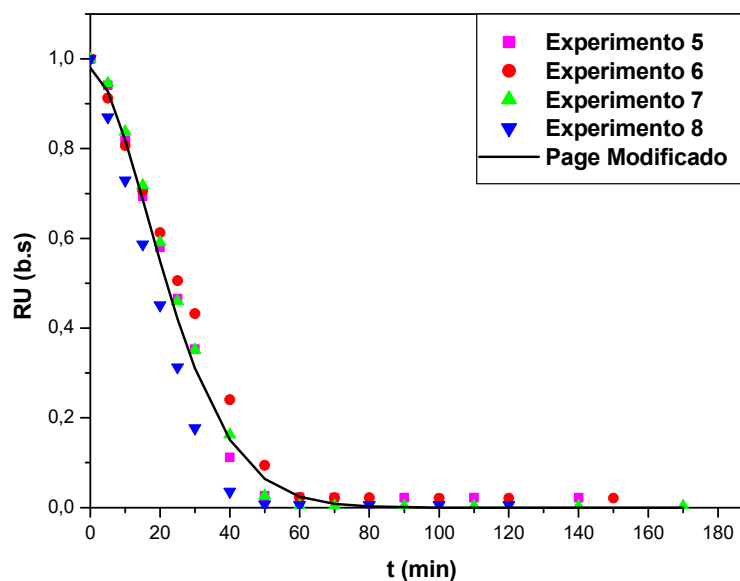
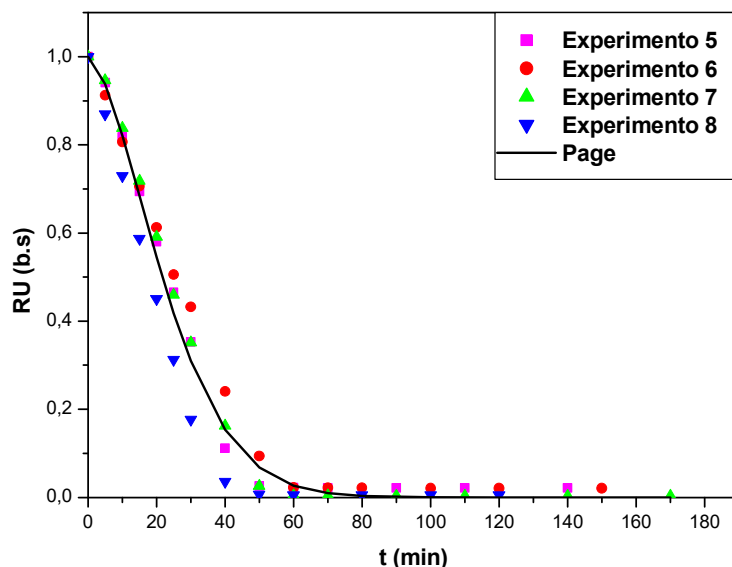


Figura 4.18 - Ajuste para o modelo de Page na temperatura de 70°C



Para todas as temperaturas os modelos de Page Modificado e Page foram os que apresentaram os maiores coeficientes de determinação (R^2) e menores erros padrões (SQ), diante de todos os modelos os dois em questão foram os que melhor se ajustaram ao agrupamento dos dados analisados. Este comportamento também foi observado por Negreiros (2019) ao ajustar os modelos da cinética de secagem em camada de espuma do suco da romã e Oliveira (2018) ao trabalhar com a cinética de secagem da folha da graviola (*Annona muricata* Linn) nas mesmas condições de temperaturas (50, 60 e 70°C).

Costa et al. (2018), ao realizar ajuste matemático para a secagem da banana (*Musa ssp*) nas temperaturas de 50, 60 e 70°C, encontrou o mesmo comportamento para o modelo de Page que apresentou $R^2 > 0,99$ e Desvio Quadrático Médio próximo a 0,01.

4.3 CARACTERIZAÇÃO DO PÓ

4.3.1 Características físicas (rendimento teórico, solubilidade, atividade de água e umidade)

Na Tabela 4.10 são apresentados os valores das características físicas dos pós da folha do noni.

Tabela 4.10—Valores médios das características físicas (rendimento teórico, solubilidade, atividade de água e umidade) do pó da folha do noni.

Experimento	Rendimento (%)	Solubilidade (%)	Atividade de água	Umidade (% b.u.)
1 (3%, 3 min, 50 °C)	4,75	39,38 ± 3,71	0,378 ± 0,045	5,91 ± 0,91
2 (5%, 3 min, 50 °C)	5,59	32,25 ± 2,55	0,301 ± 0,010	4,67 ± 0,79
3 (3%, 5 min, 50 °C)	5,40	31,62 ± 0,77	0,309 ± 0,009	5,60 ± 0,60
4 (5%, 5 min, 50 °C)	8,06	39,82 ± 3,16	0,306 ± 0,030	5,90 ± 0,10
5 (3%, 3 min, 70 °C)	6,91	35,94 ± 1,12	0,212 ± 0,013	5,59 ± 0,06
6 (5%, 3 min, 70 °C)	6,14	36,79 ± 4,79	0,248 ± 0,035	4,25 ± 0,22
7 (3%, 5 min, 70 °C)	5,16	36,74 ± 2,45	0,273 ± 0,044	4,87 ± 0,06
8 (5%, 5 min, 70 °C)	5,24	45,68 ± 7,25	0,271 ± 0,038	4,69 ± 0,01
9 (4%, 4 min, 60 °C)	4,90	41,96 ± 3,36	0,256 ± 0,018	5,00 ± 0,14
10 (4%, 4 min, 60 °C)	4,02	34,28 ± 0,72	0,345 ± 0,013	4,76 ± 0,09
11 (4%, 4 min, 60 °C)	5,86	38,09 ± 2,33	0,273 ± 0,027	4,58 ± 0,17

Pela Tabela 4.10 observou-se que o maior rendimento foi de 8,06% no experimento 4 e o menor de 4,02% no experimento 10. Comparado a outros trabalhos utilizando a mesma técnica, a secagem de polpa de frutos em camada de espuma, percebeu-se que o rendimento teórico pode ser considerado razoável, visto que no trabalho de Nascimento (2018), com secagem da polpa do noni (*Morinda citrifolia* L.), obteve-se um rendimento teórico médio de 13,2% e no trabalho realizado por Leite (2018), que teve como produto a folha de hortelã-da-folha-miúda (*Mentha crispa*) em pó cujo maior rendimento foi de 2,89% para o experimento 2 (5%, 3 min, 50 °C). Oliveira (2018) que secou o suco da folha de graviola obteve rendimentos máximo e mínimo entre 7,06% para o experimento 5 (3%, 3 min, 70 °C) e 3,73% para o experimento 11 (4%, 4 min, 60 °C). Ou seja, em se tratando de secagem de folha, o rendimento teórico foi satisfatório e acima da média esperada.

A análise estatística da influência das variáveis independentes: concentração de agente espumante, tempo de agitação e temperatura bem como suas interações sobre o rendimento do pó obtido para cada experimento não apresentou significância para um intervalo de confiança de 95%. O resultado pode ser observado pelo diagrama de Pareto ilustrado no APÊNCICE D.

Pelos resultados de solubilidade apresentados observou-se que os valores entre os experimentos estão muito próximos, variando do menor valor no experimento 3, com 31,62 ±

0,77, ao maior valor no experimento 8, com $45,68 \pm 7,25$. São valores relativamente baixos para solubilidade em água, o que indica que caso o pó seja utilizado em alguma formulação a base de água, deverá ser adicionado algum agente dispersante.

Leite (2018) em sua secagem em camada de espuma da hortelã-da-folha-miúda encontrou valores bem mais altos para a solubilidade, variando entre $76,96 \pm 1,88$ e $98,15 \pm 0,78$. O que se deve às diferenças físico-químicas e morfológicas das folhas de hortelã e noni bem como a influência do agente emulsificante em ambas as folhas.

Negreiros (2019) ao realizar o mesmo processo com a polpa da romã em diferentes condições de concentração de casca de romã e agente espumante, tempo de agitação e temperatura de secagem, obteve um menor valor de solubilidade de 60,94% (30% casca, 5% espumante, 2 minutos e 50°C) e um maior valor de 76,17% (20% casca, 3% espumante, 4 minutos e 70°C).

A análise estatística para as variáveis independentes do processo sobre a variável resposta solubilidade não apresentou significância estatística para nenhuma das variáveis nem suas interações em um intervalo de confiança de 95%, como ilustra o diagrama de Pareto que se encontra no APÊNDICE E.

A atividade de água é uma propriedade de fundamental importância, pois o seu valor interfere nas mutações físicas e químicas, bem como na multiplicação de microrganismos, afetando a qualidade e estabilidade do produto. A redução da atividade de água impede o desenvolvimento de microrganismos deteriorantes. A maioria deles, incluindo bactérias patogênicas, desenvolve-se rapidamente a níveis de a_w entre 0,99 e 0,98, deixando o produto mais suscetível a deterioração e diminuindo seu tempo de prateleira (TERRA, FREITAS E CICHOSKI, 2007).

Pelos resultados obtidos de atividade de água, observou-se que o menor valor de atividade de água foi de $0,212 \pm 0,013$ no experimento 5 e o maior valor de $0,378 \pm 0,045$ no experimento 1, este nas condições mínimas das variáveis independentes utilizadas. O que confirma a influência da temperatura sobre a atividade de água, quanto maior a temperatura, maior a quantidade de água retirada do material, portanto menos água disponível para proliferação de microrganismos. Segundo Garcia (2004) a maioria dos alimentos com teor de atividade de água inferior a 0,6 dificilmente estarão propícios ao crescimento microbiano. De acordo com Celestino (2010), para a_w menores que 0,3 as moléculas de água estão fortemente ligadas ao alimento o que leva ao não desenvolvimento de microrganismos.

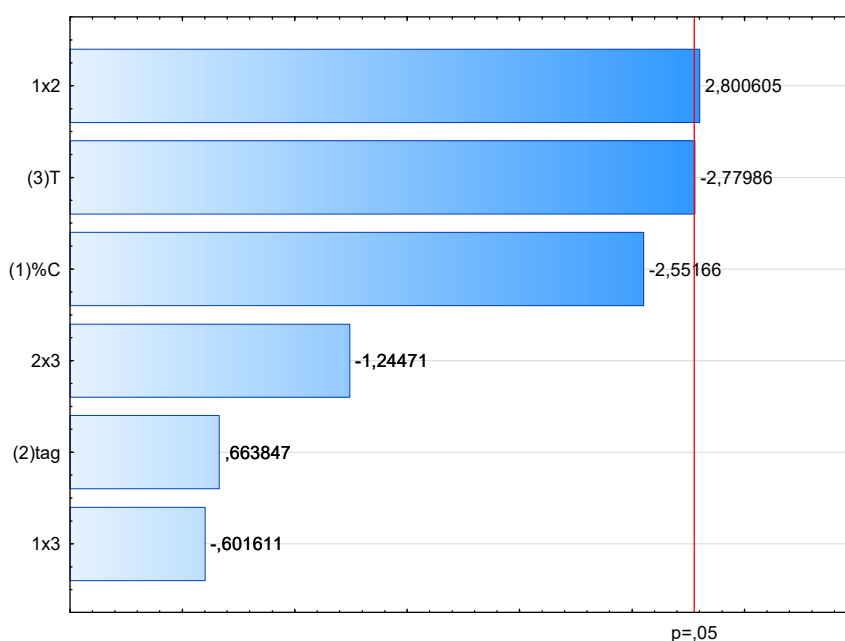
A análise estatística das variáveis independentes e suas interações sobre a atividade de água do pó obtido não apresentou significância para um intervalo de confiança de 95% como ilustrado no diagrama de Pareto do APÊNDICE F.

De acordo com os resultados obtidos, o menor teor de umidade encontrado foi de $4,58 \pm 0,17$ % (b.u.) no experimento 11 (4% de emulsificante, 4 minutos e 60 °C). O maior valor de umidade do pó foi de $5,91 \pm 0,91$ (b.u.) no experimento 1, com as características de 3% de agente espumante, 3 minutos de agitação e temperatura de secagem de 50 °C. A maior umidade foi encontrada, portanto, no ponto mínimo do planejamento experimental, que pode ser explicado pela relação direta entre temperatura e umidade, quanto menor a temperatura, maior a umidade.

Cavalcanti et al. (2011) em seu estudo obteve um teor de umidade de $8,53 \pm 1,15$ (b.s), valor que está inserido nos resultados encontrados nos experimentos do planejamento experimental. Esse valor reduzido de umidade é de vital importância para dificultar o crescimento de microrganismos.

A análise estatística da influência das variáveis independentes sobre a umidade dos pós de cada experimento foi realizada por meio do diagrama de Pareto, como mostrado na Figura 4.19.

Figura 4.19 – Diagrama de Pareto para o teor de umidade dos pós obtidos



Pela análise do diagrama de Pareto, observa-se que a interação entre a concentração do agente espumante e o tempo de agitação possui significância estatística para a resposta umidade em um intervalo de confiança de 95%, cujo valor com sinal positivo de 2,800605

representa que quanto maior a interação entre tais variáveis independentes maior a umidade do pó. E a temperatura também apresentou significância estatística com valor de -2,77986 em que o sinal negativo representa que quanto maior a temperatura, menor a umidade.

4.3.2 Características físico-químicas (sólidos solúveis totais, pH, acidez total titulável, lipídios)

Na Tabela 4.11 são apresentados os valores médios para as características físico-químicas do pó da folha de noni para cada uma das condições dos experimentos, na temperatura ambiente (25 °C).

Tabela 4.11- Valores médios das características físico-químicas (sólidos solúveis totais, pH, acidez total titulável, lipídios)

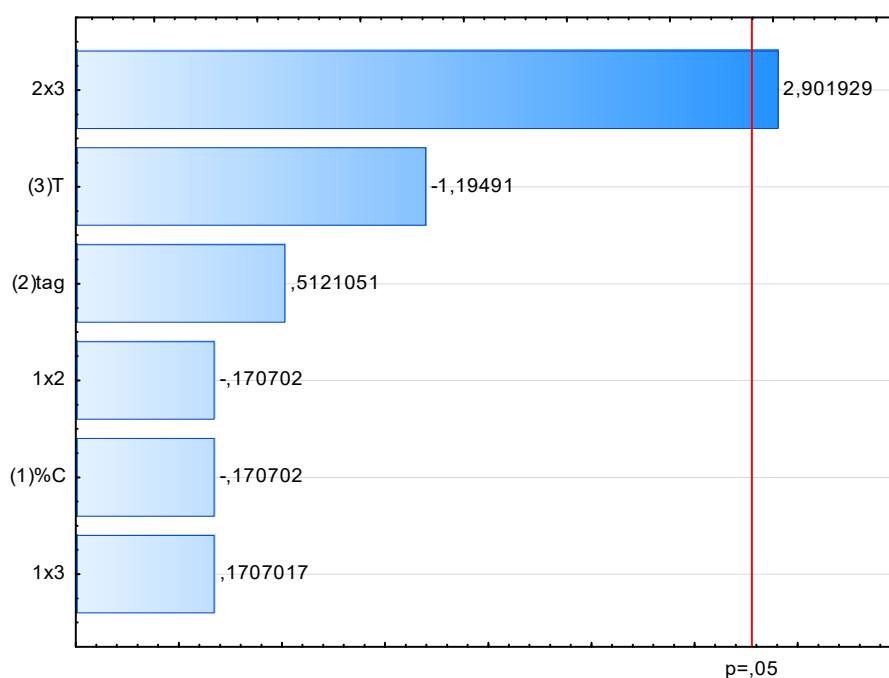
Experimento	Sólidos solúveis (°Brix)	pH	ATT (g ácido cítrico/100g)	Lipídios
1 (3%, 3 min, 50 °C)	68,00 ± 3,05	6,42 ± 0,27	0,96 ± 0,07	18,69 ± 2,66
2 (5%, 3 min, 50 °C)	68,00 ± 3,05	6,06 ± 0,22	1,12 ± 0,17	
3 (3%, 5 min, 50 °C)	62,00 ± 1,15	6,37 ± 0,05	1,00 ± 0,06	
4 (5%, 5 min, 50 °C)	60,00 ± 4,16	6,48 ± 0,25	0,88 ± 0,13	
5 (3%, 3 min, 70 °C)	56,00 ± 5,29	6,38 ± 0,08	0,89 ± 0,12	
6 (5%, 3 min, 70 °C)	56,00 ± 1,15	6,10 ± 0,04	0,85 ± 0,05	
7 (3%, 5 min, 70 °C)	66,00 ± 3,46	6,16 ± 0,10	1,30 ± 0,15	
8 (5%, 5 min, 70 °C)	66,00 ± 3,46	6,22 ± 0,24	1,20 ± 0,05	18,68 ± 0,62
9 (4%, 4 min, 60 °C)	68,00 ± 3,05	6,05 ± 0,03	1,11 ± 0,04	
10 (4%, 4 min, 60 °C)	66,00 ± 4,61	6,00 ± 0,03	1,34 ± 0,11	
11 (4%, 4 min, 60 °C)	70,00 ± 4,16	6,25 ± 0,12	1,46 ± 0,14	19,42 ± 1,54
Liofilizado	57,00 ± 1,41	5,67 ± 0,27	0,74 ± 0,07	-

Pelos valores da Tabela 4.5, o maior valor encontrado de sólidos solúveis é o do experimento 11 (70,00 °Brix), um dos pontos centrais. A menor quantidade de sólidos solúveis foi encontrada nos experimentos 5 e 6 (56,00 °Brix), mas considerando o desvio padrão, o experimento 5 com 3% de agente espumante apresentou a menor quantidade de sólidos solúveis. Esses valores são próximos aos encontrados por Oliveira (2018) em seu estudo da secagem em camada de espuma da folha da graviola cujos menores e maiores

valores encontrados foram 42,00° Brix para os experimentos 4 e 5 e 44,67 °Brix para o experimento 5, respectivamente.

A análise estatística da influência das variáveis independentes sobre o teor de sólidos solúveis dos pós da folha de noni para cada experimento foi realizada por meio do diagrama de Pareto, como mostrado na Figura 4.20.

Figura 4.20 – Diagrama de Pareto para o teor de sólidos solúveis



Pela análise do diagrama de Pareto, observa-se que a interação entre o tempo de agitação e a temperatura possui significância estatística para o teor de sólidos solúveis totais em um intervalo de confiança de 95%, cujo valor é de 2,901929 em que o sinal positivo representa que quanto maior a interação entre tais variáveis independentes maior o teor de sólidos solúveis totais no pó obtido.

O estudo do *pH* é importante pois ele atua como parâmetro para a avaliação de grau de deterioração de alimentos, no qual um valor de *pH* mais ácido ajuda na conservação do mesmo, assim como a diminuição da atividade de água, que inibem o crescimento microbiano (PINTO, LANDGRAF e FRANCO, 2019).

Pelos resultados apresentados na Tabela 4.11, observou-se que para todos os experimentos realizados, os pós apresentaram caráter levemente ácido, com seus valores extremos variando de 6,00 (Experimento 10) a 6,42 (Experimento 1).

Comparando com o *pH* do pó liofilizado (5,67), foi possível afirmar que o mesmo está inserido dentro da faixa de análise, mantendo a característica levemente ácida da folha, podendo ter uma mínima interferência em seus valores pelo acréscimo do emulsificante e do tempo de agitação.

Oliveira (2018) em seu trabalho sobre secagem em camada de espuma da folha da graviola obteve valores semelhantes de *pH*, com valores levemente ácidos variando entre 5,34 e 5,98. Enquanto Leite (2018) em seu trabalho sobre secagem em camada de espuma de hortelã-da-folha-miúda os valores de *pH* variaram entre 5,25 e 6,0, confirmando um caráter levemente ácido da folha. Portanto, fazendo um comparativo com os dois trabalhos anteriormente citados, conclui-se que a folha de noni apresenta valores de potencial hidrogeniônico próximos aos das folhas de graviola e hortelã-da-folha-miúda.

A análise estatística das variáveis independentes e suas interações sobre o *pH* do pó obtido não apresentou significância para um intervalo de confiança de 95% como ilustrado no diagrama de Pareto do APÊNDICE G.

O ácido cítrico confere a propriedade antioxidante ao material, portanto a sua análise se faz de extrema importância para aplicação cosmética. De acordo com os resultados obtidos, as menores quantidades de ácido cítrico foram encontradas nos Experimentos 4, 5 e 6, levando em consideração os desvios. Nos experimentos 5 e 6 mantiveram-se fixas as variáveis tempo de agitação e temperatura. A análise do pó liofilizado apresentou o menor teor de ácido cítrico por 100 g de pó, o que pode ser explicado pela quantidade de ácidos graxos presente nos emulsificantes alimentícios.

Oliveira (2018) encontrou em seu trabalho de secagem em camada de espuma da folha da graviola, valores médios entre 1,97 e 2,34g de ácido cítrico por 100g de pó. Valores relativamente próximos ao da folha do noni encontrados no presente trabalho. Enquanto que Nascimento (2018) encontrou valores médios entre 4,06 e 4,76g de ácido cítrico por 100g de pó no fruto do noni com adição da clara de ovo em pó como agente espumante.

A análise estatística das variáveis independentes e suas interações sobre a acidez do pó obtido não apresentou significância para um intervalo de confiança de 95% como pode ser visto no diagrama de Pareto mostrado no APÊNDICE H.

Os experimentos analisados foram os experimentos realizados nas condições dos fatoriais mínimo, máximo e central do planejamento experimental fatorial completo. Como observado o teor de lipídios aumenta à medida em que se aumentam as variáveis independentes do experimento.

Nascimento (2018) em seu trabalho sobre secagem em camada de espuma do fruto do noni, não encontrou nenhum percentual de lipídeos em seus experimentos, o que indica que muito provavelmente a folha do noni também não possui altos teores lipídicos conforme apresentado na tabela 4.11. Para a concentração máxima de emulsificante, o pó apresentou um maior percentual de lipídeos em comparação com o de menor concentração (apenas 3%). Isso pode ser explicado pela composição do emulsificante. Os emulsificantes alimentícios são ésteres com parte lipofílica e hidrofílica. Portanto, o emulsificante pode ter sido solubilizado na fase do clorofórmio e quantificado.

4.3.3 Compostos inorgânicos (teor de cinzas) e bioativos (ácido ascórbico)

Na Tabela 4.12 são apresentados os resultados obtidos para a análise de teor de cinzas (%) e a quantidade de ácido ascórbico dos pós da folha do noni para cada experimento realizado.

Tabela 4.12 – Valores médios obtidos para teor de cinzas e ácido ascórbico dos pós da folha do noni.

Experimento	Cinzas (%)	Ácido ascórbico (g ácido ascórbico/100g)
1 (3%, 3 min, 50 °C)	11,77 ± 0,13	1,01 ± 0,04
2 (5%, 3 min, 50 °C)	9,29 ± 0,69	0,98 ± 0,08
3 (3%, 5 min, 50 °C)	9,01 ± 0,18	1,10 ± 0,13
4 (5%, 5 min, 50 °C)	11,10 ± 0,06	0,87 ± 0,11
5 (3%, 3 min, 70 °C)	11,74 ± 0,14	0,79 ± 0,06
6 (5%, 3 min, 70 °C)	11,26 ± 0,67	0,85 ± 0,07
7 (3%, 5 min, 70 °C)	10,04 ± 0,21	0,88 ± 0,08
8 (5%, 5 min, 70 °C)	10,25 ± 0,16	0,78 ± 0,25
9 (4%, 4 min, 60 °C)	9,22 ± 0,04	1,13 ± 0,06
10 (4%, 4 min, 60 °C)	7,29 ± 0,31	0,85 ± 0,07
11 (4%, 4 min, 60 °C)	10,30 ± 0,34	1,12 ± 0,06

De acordo com os dados da Tabela 4.12, observou-se que o maior teor de cinzas foi de 11,77 ± 0,13% para o experimento 1 (3% de espumante, 3 minutos e 50 °C) e o menor valor encontrado foi de 7,29 ± 0,31% no experimento 10 (4% de espumante, 4 minutos e 60 °C). Os valores dos pontos centrais tiveram uma variação razoavelmente significativa para o

teor de cinzas, entre 7,29 e 10,30%. Esse fato pode apontar para possíveis erros experimentais, como calibração da balança, estado das folhas a serem secas. As folhas se mantinham armazenadas na geladeira por até três dias, sendo que no terceiro dia já começava a aparentar aspectos diferentes como cheiro mais forte e coloração levemente escura, como se tivesse iniciado o processo de oxidação. Estudos futuros podem analisar a estabilidade de estocagem das folhas.

Os valores de ácido ascórbico encontrados no pó da folha de noni são todos muito próximos, considerando o desvio padrão, com seus valores médios variando entre 0,85 g de ácido ascórbico/100 g de pó para o experimento 10 (4% de espumante, 4 min de agitação e 60°C) e 1,12 g de ácido ascórbico/ 100 g de pó para o experimento 12, também um dos pontos centrais do planejamento experimental. Nascimento (2018) encontrou valores médios entre 0,2 e 0,6 g de ácido ascórbico/100 g de pó no pó do fruto do noni, um pouco menos do que o que foi encontrado nas folhas no presente trabalho.

A análise estatística da influência das variáveis independentes sobre o teor de cinzas e de ácido ascórbico para um intervalo de 95% de confiança, não apresentaram significância estatística como pode ser visto nos diagramas de Pareto ilustrados nos APÊNDICES I e J.

5 CONCLUSÕES

Pelos resultados obtidos no presente trabalho, pode-se concluir que o emulsificante Portogel® foi eficiente para o processo de secagem em camada de espuma, uma vez que em sua concentração mínima de 3% ainda produziu uma espuma estável, de onde se obteve um pó com características semelhantes aos demais experimentos do planejamento, bem como propriedades relativamente próximas ao encontrado no pó liofilizado.

As curvas de cinética de todos os experimentos realizados apresentaram o comportamento esperado de acordo com a literatura, bem como as curvas de taxa de secagem, seguindo os períodos de taxa constantes e decrescentes, conforme o esperado.

Pela análise estatística observou-se que a temperatura do processo influenciou no tempo final de secagem, que variou entre 120 e 330 minutos, para um intervalo de confiança de 95 % ($p < 0,05$). Quanto maior a temperatura, menor foi o tempo de secagem, onde o experimento que obteve o menor tempo de secagem foi o experimento 8 (5%, 5 min, 70 °C) com as condições máximas do planejamento.

Em todas as temperaturas (50, 60 e 70 °C) os modelos matemáticos de Page Modificado e Page foram os que apresentaram os maiores coeficientes de determinação (R^2) e menores erros padrões (SQ), evidenciando um bom ajuste ao agrupamento de dados da cinética de secagem em camada de espuma da folha do noni.

Sobre os pós obtidos em cada um dos experimentos, obteve-se um elevado teor de sólidos solúveis totais, valor médio de 64,18 °Brix, com caráter levemente ácido, pH médio de 6,22. O maior índice de solubilidade foi de 45,68% no experimento 8 (5%, 5 min, 70 °C) e a atividade de água manteve-se na faixa onde há pouco desenvolvimento microbiano. A quantidade de ácido ascórbico (vitamina C) foi maior em comparação com o fruto do noni em pó. A acidez titulável total (ATT), o pH e o $Brix$ tiveram um acréscimo em seus valores ao realizar a comparação com o pó liofilizado, decorrente do acréscimo do emulsificante utilizado Portogel®.

Pela análise do diagrama de Pareto, observou-se que a temperatura e a interação entre a concentração do agente espumante e o tempo de agitação, apresentaram significância estatística para a umidade ($b.u.$) em um intervalo de confiança de 95%. Quanto ao teor de sólidos solúveis, apenas a variável temperatura apresentou significância estatística.

Para as demais características físicas, físico-químicas, compostos inorgânicos e bioativos do pó obtido, nenhum dos parâmetros analisados apresentou significância estatística para um intervalo de 95% de confiança ($p < 0,05$).

Diante dessas avaliações realizadas, as melhores condições para a fabricação em larga escala seriam as do experimento 5 (3%, 3min, 70° C), pois utiliza uma baixa concentração do agente espumante, apresentou o segundo menor tempo de secagem (140 minutos), e o menor valor de atividade de água (a_w), o que minimiza as chances de contaminação microbiológica e permite uma maior segurança de estocagem.

Portanto, a técnica de secagem em camada de espuma torna-se indicada para a obtenção do pó da folha do noni, pois além de ser um processo rápido e de baixo custo, permite a preservação das características e compostos bioativos da folha, podendo ser aplicado nas indústrias farmacêuticas e de cosméticos.

REFERÊNCIAS

- ALENCAR, M. V. O. B.; SILVA, M. B. S.; PAZ, M. F. C. J.; MORAES, G. P.; NUNES, A. T.; CAVALVANTE, A. A. C. M. Genotoxicidade e Nefrotoxicidade da *Morinda citrifolia* em Estudos Pré-Clínicas: Riscos à Saúde Pública. **Revista Interdisciplinar**. v. 6, n.01, p. 1-8, 2013.
- ALVES, J. J. A.; NASCIMENTO, S. S. Levantamento fitogeográfico das plantas medicinais nativas do cariri paraibano. **Revista Geográfica Acadêmica**, v.4, n.2, 2010.
- ARUNA, M. S.; RAO, N. R.; DEEPTHI, B.; PRASANNA, J. L.; SURYA, P. M. Ashyuka: a hub of medicinal values. International. **Journal of Biological & Pharmaceutical Research**, v.4, n.12, p.1043–1049, 2013.
- BAG, S. K.; SRIVASTAV, P. P.; MISHRA, H. N. Optimization of process parameters for foaming of bael (*Aegle marmelos* L.) fruit pulp. **Food Bioprocess Technology**, v. 4, p. 1450-1458, 2011.
- BARROS, R. S., **Definição dos parâmetros para a secagem em camada de espuma da folha do noni (*Morinda citrifolia* L.)** 40 f. Trabalho Final de Curso (Graduação em Engenharia Química), Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2018.
- BANÓSKI, S. A. **Ervas Medicinais**. Revista Científica Online. 2008. Disponível em <http://www.atenas.edu.br/uniatenas/assets/files/magazines/_3__ERVAS_MEDICINAIS__SOLANGE_APARECIDA_BANOSKI.pdf> Acesso em: Janeiro, 2020.
- BEWLEY, J. D.; BRADFORD, K. J.; HENK, W. M. HILHORST.; NONOGAKI, H. **Seeds, physiology of development, germination and dormancy**. 3. ed. New York: Springer, 392 p, 2013.
- BHARDWAJ, A.; BALLAL, S.; VELMURUGAN, N. Comparative evaluation of the antimicrobial activity of natural extracts of *Morinda citrifolia*, papain and *aloe vera* (all in gel formulation), 2% chlorhexidine gel and calcium hydroxide, against *Enterococcus faecalis*: An in vitro study. **Journal of Conservative Dentistry**, v. 15, n. 3, p. 293-297, 2012.
- BRASIL. Ministério da Saúde (MS). Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Resolução – **RDC N°26**, de 26 de maio de 2014. Dispõe sobre fitoterápicos
- BRASIL. Ministério da Saúde (MS). Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Resolução – **RDC N°10**, de 09 de Março de 2010. Dispõe sobre a notificação de drogas vegetais junto à Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) e dá outras providências. Disponível em <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2010/res0010_09_03_2010.html> Acesso em: Janeiro, 2020.
- BRASIL. Instituto Adolfo Lutz,. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. São Paulo: ANVISA, 2008. 1015 p.

BRASIL. Ministério da Saúde (MS). Secretaria de Ciência, Tecnologia e Insumos Estratégicos. Departamento de Assistência Farmacêutica. **Política Nacional de Plantas Medicinais e Fitoterápicos**. Brasília: Ministério da Saúde, 2006. 60 p.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Resolução de Diretoria Colegiada - **RDC nº 218**, de 29 de julho de 2005. Dispõe sobre o Regulamento Técnico de Procedimentos Higienico-Sanitários para Manipulação de Alimentos e Bebidas Preparados com Vegetais. Disponível em <http://www.saude.rj.gov.br/comum/code/MostrarArquivo.php?C=MjA0NA%2C%2C>. Acesso em: Janeiro 2019.

BRITO, D.R.B., FERNANDES, R.M., FERNANDES, M.Z.L.C.M., FERREIRA, M. D.S., ROLIM, F.R.L., FILHO, M.L.S. Ação anti-helmíntica da *Morinda citrifolia* (noni) sobre *Heterakis gallinarum*. *Rev. Bras. Parasitol. Vet.*, v. 18, p. 32-36, 2009.

BROOKER, D. B.; BAKKER-ARKEMA, F. W.; HALL, C. W. **Drying and storage of grains and oilseeds**. Westport: The AVI Publishing Company, 1992. 450 p.

CANO-CHAUCA, M.; STRINGHETA, P. C.; RAMOS, A. M.; CAL-VIDA, J. Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, Oxford, v. 5, n. 4, p. 420-428, 2005.

CARAVACA, H. **Plantas que curam**. M&M Editores Ltda - Editora Virtual Books Online (virtualbooks.com.br), 2000. 66p.

CASARIN, S.T.; HECK, R.M.; SCHWARTZ, E. O uso de práticas terapêuticas alternativas, sob a ótica do paciente oncológico e sua família. **Família, Saúde e Desenvolvimento**, v. 7, n. 1, p. 24-31, 2005.

CAPRISTE, G.H.; ROTSTEIN, E. Prediction of sorptional equilibrium data for starch-containing foodstuffs. **Journal of Food Science**, v.47, p. 1501-1507, 1982.

CAVALCANTI, M. T.; SILVEIRA, D. C.; FLORÊNCIO, I. M.; FEITOSA, V. A.; ELLER, S. C. W. S. Obtenção da farinha do fruto de juazeiro (*Ziziphus joazeiro* Mart.) e caracterização físico-química. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 6, p. 220-224, 2011.

CELESTINO, S. M. **Princípios de Secagem de Alimentos**. Documentos 217. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Planaltina-DF, 2010.

CLAFSHENKEL, W. P.; KING, T. L.; KOTLARCZYK, M. P.; CLINE, J. M.; FOSTER, W. G.; DAVIS, V. L.; WITT-ENDERBY, P. A. *Morinda citrifolia* (noni) juice augments mammary gland differentiation and reduces mammary tumor growth in mice expressing the unactivated c-erbB2 transgene. **Evidence Based Complementary Alternative Medicine**. 1-15, 2012.

CHAN-BLANCO, Y. VAILLANT, F.; PEREZ, A. M.; REYNES, M.; BRILLOUET, J. M.; BRAT, P. The noni fruit (*Morinda citrifolia* L.): A review of agricultural research, nutritional and therapeutic properties. **Journal of food composition and analysis**, v. 19, n. 6-7, p. 645-654, 2006.

CELESTINO, S. M. C. **Princípios de Secagem de Alimentos**. Planaltina, DF: Embapa Cerrados, 2010. 51 p.

CORREIA, A. A.; GONZAGA, M. L. C.; AQUINO, A. C.; SOUZA, P. H. M.; FIGUEIREDO, R. W.; MAIA, G. A. Caracterização química e físico-química da polpa de noni (*Morinda citrifolia*) cultivado no Estado do Ceará. **Revista Alimentos e Nutrição**, v. 22, n. 4, p. 609-615, 2011.

COSTA, Z. R. T.; SILVA, L. P. F. R.; ALVES, V. R.; SILVA, H. A.; VIEIRA, A. F. Modelos matemáticos da cinética de secagem de banana (*Musa ssp*). In **Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia (CONTECC)**, Maceió, 2018.

CRUZ, W. F. **Obtenção de polpa de goiaba (*Psidium guajava* L.) em pó pelo método de secagem em camada espuma**. 2013. 78 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Viçosa, Cidade, 2013.

DENG, S.; WEST, B. J.; JENSEN, C. J. Simultaneous characterisation and quantitation of flavonol glycosides and aglycones in noni leaves using a validated HPLC-UV/MS method. **Food Chemistry**, v. 111, n. 3. 526-529, 2008.

DIAS, L. G. **Estudo do processo de secagem em estufa e por microondas de compósitos cerâmicos de argila e resíduos de esteatito**. 2013. 98 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia), Universidade Federal de São João Del Rei, MG, 2013.

DIXON, A. R.; McMILLEN, H.; ETKIN, N. L. Ferment this: the transformation of noni, a traditional Polynesian medicine (*Morinda citrifolia*, Rubiaceae). **Ecological Botony**, v. 53, p. 51–68, 1999.

EASTMAN, J. E.; MOORE, C. O. **Cold-water-soluble granular starch for gelled food compositions**. U.S. Patent n. 4,465,702, 14 ago. 1984.

ERTEKIN, C.; YALDIZ, O. Drying of egg plant and selection of a suitable thin layer drying model. **Journal of Food Engineering**.n.63. p. 349–359, 2004.

FALADE, K. O.; ADEYANJU, K. I.; UZO-PETERS, P. I. Foam-mat drying of cowpea (*Vigna unguiculata*) using glyceryl monostearate and egg albumin as foaming agents. **European Food Research and Technology**, v. 217, n. 6, p. 486-491, 2003.

FEITOSA, R. M.; FIGUEIRÊDO, R. M.; QUEIROZ, A. J.; SILVA, R. C.; OLIVEIRA, E. N.; FEITOSA, B. F. Avaliação do tempo de batimento na qualidade da espuma de polpa de murta. **Tecnologia e Ciência Agropecuária**, v. 12, p. 1-6, 2018.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e prática**; 2º Ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. 602 p.

FRANCO, T. S. **Desidratação de suco de yacon pelo método de camada de espuma**. 192 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

FRANCO, T. S.; ELLENDERSEN, L. N.; FATTORI, D.; GRANATO, D.; MASSON, M. L. Influence of the addition of ovalbumin and emulsifier on the physical properties and stability of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) juice foams prepared for foam mat drying process. **Food Bioprocess and Technology**, v. 8, p. 2012-2026, 2015.

FOGLIO, M. A. QUEIROGA, C. L., SOUSA, I. D. O., & RODRIGUES, R. A. F. Plantas medicinais como fonte de recursos terapêuticos: um modelo multidisciplinar. **Construindo a história dos produtos naturais**, v. 7, p. 1-8, 2006.

FRANCO, T. S. **Desidratação de suco de yacon pelo método de camada de espuma**. 192 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

GARCIA, D. M. **Análise de atividade de água em alimentos armazenados no interior de granjas de integração avícola**. 50 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Veterinárias), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

GERMOSÉN-ROBINEAU, L. **Hacia una farmacopea caribeña**. Santo Domingo: Tramil7, 1995. 696 p.

GOVAERTS, R.; FRODIN, D. G.; RUHSAM, M.; BRIDSON, D. M.; DAVIS, A. P. World checklist and bibliography of Rubiaceae. The Trustees of the Royal Botanic Gardens, Kew, 2007.

HUI, Chong Kah et al. Catechin profile and hypolipidemic activity of *Morinda citrifolia* leaf water extract. **Heliyon**, v. 6, n. 6, p. e04337, 2020.

JANG, B. C. The fruit juice of *Morinda citrifolia* (noni) downregulates HIF-1 α protein expression through inhibition of PKB, ERK-1/2, JNK-1 and S6 in manganese-stimulated A549 human lung cancer cells. **International Journal of Molecular Medicine**, v. 29, n. 3, p. 499-504, 2012.

JANGAM, S. V.; LAW, C. L.; MAJUMDAR, A. S. **Drying of foods, vegetables and fruits**. V. 1, publicado em Singapura, 229 p., 2010.

KALLUF, L. J. H.. **Fitoterapia funcional, parte 1: dos princípios ativos à prescrição de fitoterápicos**. 1. ed. São Paulo: VP Ed., 2008. 304 p.

KAMIYA, K.; TANAKA, Y.; ENDANG, H.; UMAR, M.; SATAKE, T. Chemical constituents of *Morinda citrifolia* fruits inhibit copper- induced low-density lipoprotein oxidation. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 52, n. 19, p. 5843-5848, 2004.

KARIM, A. A.; WAI, C. C. Foam-mat drying of starfruit (*Averrhoa carambola* L.) purê stability and air-drying characteristics. **Food Chemistry**, v. 64, n. 3, p.337-343, 1999.

KEEY, R. B. **Drying: principles and practice**. USA; New York: Pergamon Press, 358 p., 1992.

KUDRA, T.; RATTI, C. Foam-mat drying: Energy and cost analyses. **Canadian Biosystems Engineering**, v. 48, p. 3.27-3.32, 2006.

KUDRA, T.; RATTI, C. Process and energy optimization in drying of foamed materials. **Transactions of the Tambov State Technical University**, v.14, n. 4, p. 812-819, 2008.

LEITE, A. C. N. **Estudo da cinética de secagem em camada de espuma (foam-mat drying) da hortelã-da-folha-miúda (*Mentha crispa*)**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), 108 p. Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2018.

LEÓN, J.; POVEDA, L. **Nombres comunes de lãs plantas em Costa Rica**. Ed. Guayacán. San José, Costa Rica. 2000. 870 p.

LIN, Y. L.; CHANG, Y. Y.; YANG, D. J.; TZANG, B. S.; CHEN, Y. C. Beneficial effects of noni (*Morinda citrifolia* L.) juice on livers of high-fat dietary hamsters. **Food Chemistry**, v. 140, n. 1-2, p. 31-38, 2013.

LORENZI, H.; MATOS, F. J. A.. **Plantas medicinais no Brasil: nativas e exóticas**. 2. ed. São Paulo: Instituto Plantarum, 2008. 544 p.

LUTZ, INTITUTO ADOLFO. Métodos físico-químicos para análise de alimentos. **São Paulo: ANVISA**, 2008.

LV, L.; CHEN, H.; HO, C.; SANG, S. Chemical components of the roots of noni (*Morinda citrifolia*) and their cytotoxic effects. **Fitoterapia**. v. 82. p. 704–708. 2011.

LY, Hai Trieu et al. Phytochemical Analysis and Wound-Healing Activity of Noni (*Morinda Citrifolia*) Leaf Extract. **Journal of Herbs, Spices & Medicinal Plants**, p. 1-15, 2020.

MARQUES, G. M. R. **Secagem de caldo de cana em leite de espuma e avaliação sensorial do produto**. 2009. 84 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos), Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga, BA, 2009.

MACIEL, M. A.M.; PINTO, A. C.; VEIGA JR., V. F.; GRYNBERG, N. F.; ECHEVARRIA, A. Plantas Medicinais: A necessidade de estudos multidisciplinares. **Química Nova**, v.25, p.429- 432, 2002.

MANGUEIRA, E. R. **Estudo da secagem em camada de espuma (foam-mat drying) do ovo de pata**. 112 f. Dissertação (Mestre em Engenharia Química), Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2018.

MAYTA, S. Miguel A.; MASSARANI, Giulio; PINTO, José Carlos. Modeling of grain drying in continuous cross-flow sliding bed dryers. **The Canadian Journal of Chemical Engineering**, v. 74, n. 5, p. 797-805, 1996.

MATOSO, L. M. L.; MELO C. C. R.; MENEZES, L. M. C. S.; OLIVEIRA, L. E.; OLIVEIRA, K. K. D. O. Características e a utilização do noni (*Morinda citrifolia*). **C&D-Revista eletrônica da Fainor**, v. 6, n. 1, p. 42-50, 2013.

MOHAMED, Suhaila. *Morinda citrifolia* leaf induced leukemia cells apoptosis and produced synergistic effects with zerumbone. **Research & Reviews: A Journal of Life Sciences**, v. 6, n. 3, p. 24-32, 2019.

MÜLLER, J. C. **Toxicidade reprodutiva da *Morinda citrifolia* Linn.** 87 f. Dissertação (Mestrado em Farmacologia), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

NASCIMENTO, L.C.S. **Caracterização centesimal, composição química e atividade antioxidante do noni (*morinda citrifolia* L.) cultivado no município de Zé Doca-MA.** 69 f. Dissertação (Mestrado em Ciências), Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2012.

NASCIMENTO, S. P. **Estudo da secagem do noni (*Morinda citrifolia* L.) em camada de espuma (foam-mat drying).** Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), 77 p. Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2018.

NELSON, C. *Morinda citrifolia* (noni). Species profiles for Pacific Island forestryOptimal Binary Solvent Extraction System for Phenolic Antioxidants from Mengkudu (*Morinda citrifolia*) Fruit. **Molecules**, n. 18, v. 6, p. 7004-7022, 2006.

NELSON, S. C. Noni seed handling and seedling production. **College of Tropical Agriculture and Human Resources**. Holwaloa, Hawaii: University of Hawai'i at Mānoa, 2005.

NELSON, S. C; ELEVITCH, C. R. Workshop manual to supplement noni: The complete guide for consumers and growers for noni processing, Marketing, and Field Training Workshop for YAP. **Permanent Agriculture Resources**, Holualoa, Hawaii, p.18, 2006.

NEGREIROS, J. K. S. **Secagem em camada de espuma do suco da romã, composto por sua polpa e casca.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), 107 p. Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2019.

NEVES JD, LÓS DWS, BARROS RP. Comercialização de plantas medicinais: um estudo etnobotânico nas feiras livres do município de Arapiraca-AL. **Revista Brasileira de Biologia e Farmácia**;7(2):38-51, 2012.

NEVES, L. C.; ALENCAR, S. M.; CARPES, S. T. Determinação da atividade antioxidante e do teor de compostos fenólicos e flavonóides totais em amostras de pólen apícola de *Apis mellifera*. **Braz. J. Food Technol.**, v. 2, n. 15, 2008.

NERURKAR, P. V. NISHIOKA, A.; ECK, P. O.; JOHNS, L. M.; VOLPER, E.; NERURKAR, V. R. Regulation of glucose metabolism via hepatic forkhead transcription factor 1 (FoxO1) by *Morinda citrifolia* (noni) in high-fat diet-induced obese mice. **British Journal of Nutrition**, v. 108, n. 2, p. 218-228, 2012.

NICOLETTI, M. A. OLIVEIRA-JÚNIOR, M. A.; BERTASSO, C. C.; CAPOROSSI, P. Y.; TAVARES, A. P. L. Principais interações no uso de medicamentos fitoterápicos. **Infarma**, v. 19, n. 1/2, p. 32-40, 2007.

OLIVEIRA, B. F. **Secagem da folha da graviola (*Annona muricata* Linn) pelo método de camada de espuma (foam-mat drying)**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), 93 p. Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2018.

PACHÚ, C. O. **Processamento de plantas medicinais para obtenção de extratos secos e líquidos**. 117 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos), Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2007.

PALU, A. K; KIM, A. H.; WEST, B. J.; DENG S.; JENSEN, J.; WHITE, L. The effects of *Morinda citrifolia* L. (noni) on the immune system: Its molecular mechanisms of action. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 115, n. 3, p. 502-506, 2008.

PANDY, V.; NARASINGAM, M.; MOHAMED, Z. Antipsychotic-like activity of noni (*Morinda citrifolia* Linn.) in mice. **BMC Complementary and Alternative Medicine**, v. 12, n. 186, p. 1-9, 2012.

PARK, K. J; ANTONIO, G. C.; OLIVEIRA, R. D.; PARK, K. J. B. **Conceitos de processo e equipamentos de secagem**. Campinas, 2007.

PERAZZINI, H. **Secagem de resíduos cítricos em secador rotativo**. 104 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2011.

PINTO, E. G. **Caracterização da espuma de jenipapo (*Genipa americana* L.) com diferentes aditivos visando a secagem em leito de espuma**. 65 p. Dissertação (mestrado em Engenharia de Alimentos) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga, 2009.

PINTO, U. M.; LANDGRAF, M.; FRANCO, B. D. G. M. Deterioração microbiana dos alimentos. **Microbiologia e higiene de alimentos – Teoria e prática**. 1ª ed. Rio de Janeiro: Rubio, v. 1, p. 33-52, 2019.

RADUNZ, L. L. Efeito da temperatura do ar de secagem no teor e na composição dos óleos essenciais de guaco (*Mikania glomerata* Sprengel) e hortelã-comum (*Mentha x villosa* Huds). 90 p. **Viçosa: Universidade Federal de Viçosa**, 2004.

RAJKUMAR, P.; KAILAPPAN, R.; VISWANATHAN, R.; RAGHAVAN, G. S. V. Drying characteristics of foamed alphonso mango pulp in a continuous type foam mat dryer. **Journal of Food Engineering**, v. 79, p. 1452-1459, 2007.

RAZAFIMANDIMBISON, S. G.; MC DOWELL, T. D.; HALFORD, D. A.; BREMER, B. Origin of the pantropical and nutraceutical *Morinda citrifolia* L. (Rubiaceae): coments on its distribution range and circumscription. **Journal of Biogeography**, n.37, p. 520- 529, 2010.

RODRÍGUEZ, F. J. M.; PINEDO, D. M. Mito y realidad de *Morinda citrifolia* L. **Rev Cubana Plant Med**, v.9, n.3, 2004.

SANTHOSH ARUNA, M., RAMA RAO, N., DEEPTHI, B., LAKSHMI PRASANNA, J., SURYA, PRABHA M., Ashyuka: a hub of medicinal values. International Journal of Biological & Pharmaceutical Research, v.4, n.12, p.1043–1049, 2013.

SANKAT, C. K.; CASTAIGNE, F. Foaming and drying behaviour of ripe bananas. **Food Science and Technology**, v. 37, n. 1, p. 517-525, 2004.

SANTOS, K. D. C.; PEDROZA, J. P.; GOMES, J. P.; ALEXANDRE, H. V.; ALVES, N. M. C. **Isoterma de adsorção de cubos de cenoura**. In: VI CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UFCG, 2009, Campina Grande, PB. ANAIS DO VI CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UFCG. Campina Grande, PB: UFCG, 2009, v. 6, p. 1-7.

SERAFINI ,M. R.; SANTOS, R. D.; GUIMARÃES, A. D.;SANTOS, J. P. A.; SANTOS, A. D. C.; ALVES, I. A.; GELAIN, D. P.; NOGUEIRA, P. C. L.; QUINTANS-JÚNIOR, L. J.; BONJARDIM, L. R.; ARAÚJO, A. A. S. *Morinda citrifolia* Linn Leaf Extract Possesses Antioxidant Activities and Reduces Nociceptive Behavior and Leukocyte Migration. **Journal of Medicinal Food**, v. 14, n. 10, p. 11589-1166, 2011a.

SERAFINI ,M. R.; SANTOS, R. D.; GUIMARÃES, A. D.;SANTOS, J. P. A.; SANTOS, A. D. C.; ALVES, I. A.; GELAIN, D. P.; NOGUEIRA, P. C. L.; QUINTANS-JÚNIOR, L. J.; BONJARDIM, L. R.; ARAÚJO, A. A. S. *Morinda citrifolia* Linn Leaf Extract Possesses Antioxidant Activities and Reduces Nociceptive Behavior and Leukocyte Migration. **Journal of Medicinal Food**, v. 14, n. 10, p. 11589-1166, 2011b.

SHALAN, N. A. A. M.; MUSTAPHA, N. M.; MOHAMED, S. Chronic toxicity evaluation of *Morinda citrifolia* fruit and leaf in mice. **Regulatory Toxicology and Pharmacology**, v. 83, p. 46-53, 2017.

SILVA, F. da; CASALI, V. W. D. Plantas medicinais e aromáticas: Pós-colheita e óleos essenciais. **Viçosa-MG: UFV, DFT**, p. 135, 2000.

SILVA, J. **Adubação orgânica e mineral de noni: desempenho agrônômico, nutrição da planta, qualidade de fruto e de suco**. XX f. Tese (Doutorado em Agronomia), Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2010.

SILVA, R. N. G.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, J. M.; GALDINO, P. O. Armazenamento de umbu-cajá em pó. **Ciência Rural**, v. 35, n.5, p.1179-1184, 2005.

SILVA FILHO, E. D. **Obtenção e avaliação da qualidade da polpa da manga CV. Haden em pó, pelo método de secagem em camada de espuma**. 2012. 190 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2012.

SIMÕES, T. B., **Definição dos parâmetros para a secagem em camada de espuma (Foam-mat drying) das folhas do mastruz (*Chenopodium ambiosoides* L.)** 50 f. Trabalho Final de Curso (Bacharelado em Engenharia Química), Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2017.

SOARES, E. C. **Caracterização de aditivos para secagem de araçá-boi (*Eugenia stipitata* Mc Vaugh) em leito de espuma**. 89 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos), Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga, 2009.

SOUSA, J. A.; AQUINO, A. R. L.; FREIRE, F. C. O.; SILVA NETO, P. A. F. Produção de mudas noni. Comunicado Técnico on line – EMBRAPA, 2010.

STROBEL G., DAISY B. Bioprospecting for microbial endophytes and their natural products. **Microbiol. Mol. Biol Rev** , 67, 491–502, 2003.

STRUMILLO, C.; KUDRA, T. **Drying: Principles, Applications and Design**. Gordon na Breach Science Publishers, 1986..

SU G.; SUH S. O.; SCHNEIDER, R. W.; RUSSIN, J. S. Host specialization in the charcoal rot fungus, **Macrophomina phaseolina**. **Phytopathology**, n. 91, p. 120-126, 2001.

TERRA, N. N.; FREITAS, R. J. S.; CICHOSKI, A. J. Atividade de água, pH, umidade e desenvolvimento de *Staphylococcus xylosus* durante o processamento e armazenamento da paleta suína curada, maturada e fermentada. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, 27(4): p. 756-760, 2007.

THUWAPANICHAYANAN, R.; PRACHAYAWARAKORN, S.; SOPONRONNARIT, S. Effects of foaming agentes and foam density on drying characteristics and textural property of banana foams. **LWT – Food Science and Technology**, v. 47, p. 348-357, 2012.

THUWAPANICHAYANAN, R.; PRACHAYAWARAKORN, S.; SOPONRONNARIT, S. Drying characteristics and quality of banana foam mat. **Journal of Food Engineering**, v. 86, p. 573-583, 2008.

TRAVAGLINI, D. A. NETO, M. P.; BLEINROTH, E. W.; LEITÃO, M. D. F. **Banana-passa princípios de secagem, conservação e produção industrial**. ITAL/Rede de Núcleos de Informação Tecnológica, 1993.

VEIGA J. V. F.; PINTO, A. C.; MACIEL, M. A.M. Plantas medicinais: cura segura, Química Nova, v.28, n.3, p.519-528, 2005.

VEIGA, R. F. A.; BARBOSA, W.; HIROCE, R.; MENDAÇOLLI, S. L. J.; TOMBOLATO, A. F. C.; COSTA, A. A. Noni: frutífera medicinal em introdução e aclimação no Brasil. **O agrônomo**, v. 57, n. 1, p. 20-1, 2005.

WANG, M. Y.; WEST, B. J.; JENSEN, C. J.; NOWICKI, D. *Morinda citrifolia* (noni): A literature review and recent advances in noni research. Review. **Acta Pharmacologica Sinica**, v. 23, p. 1127–1141, 2002.

WEST, B. J.; DENG, S.; PALU, A. K.; JENSEN, C. J. *Morinda citrifolia* Linn. (Rubiaceae) leaf extracts mitigate UVB-induced erythema. **Journal of Natural Medicine**, v.63, p. 351–354, 2009.

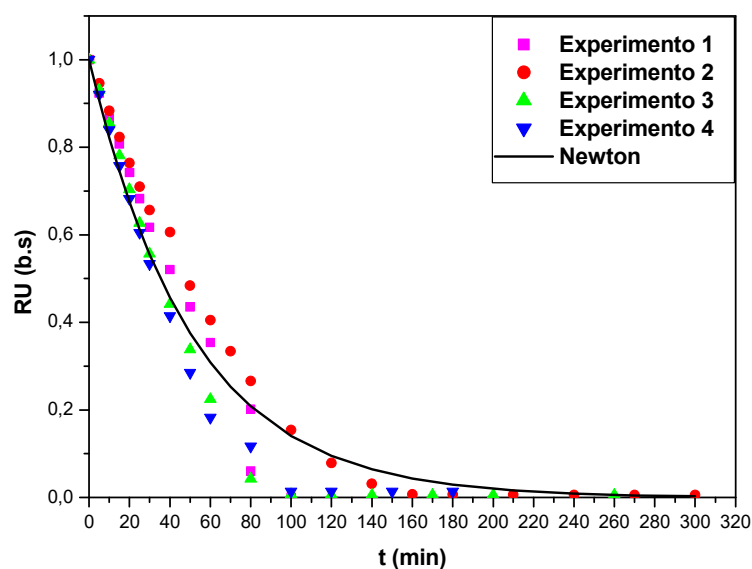
WIDYASTUTIL, T. E. W., SRIANTA, I. Development of functional drink based on foam-mat dried papaya (*carica papaya* L.); optimization of foam-mat drying process and its formulation. **International Journal of Food, Nutrition and Public Health**, v. 4, n. 2, p. 167-176, 2011.

ZHANG, W. M.; WANG, W.; ZHANG, J. J.; WANG, Z. R.; WANG, Y.; HAO, W. J.; HUANG, W. Y. Antibacterial constituents of Hainan *Morinda citrifolia* (noni) leaves. **Journal of Food Science**. n. 5, vol. 81. pp. 1192-1196. 2016.

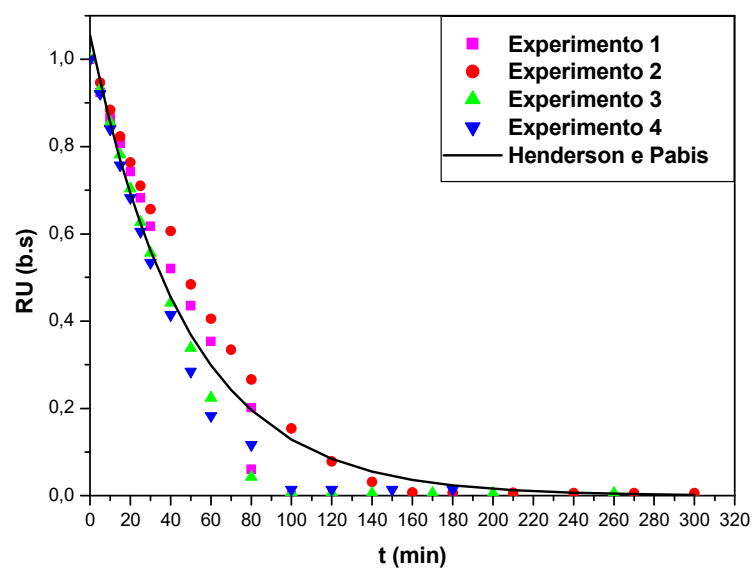
ZIN, M. Z.; ABDUL-HAMID, A.; OSMAN, A. Antioxidative activity of extracts from Mengkudu (*Morinda citrifolia* L.) root, fruit and leaf. **Journal of Food Chemistry**. v. 78, pp. 227-231. 2002.

APÊNCIDES

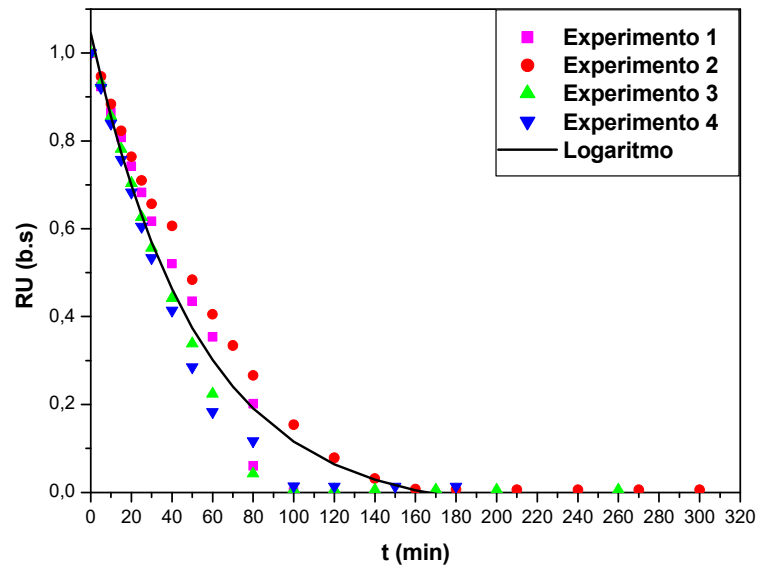
APÊNDICE A – Ajustes para os modelos de Newton (a); Henderson e Pabis (b) e Logaritmo (c) na temperatura de 50 °C.



(a) Modelo de Newton

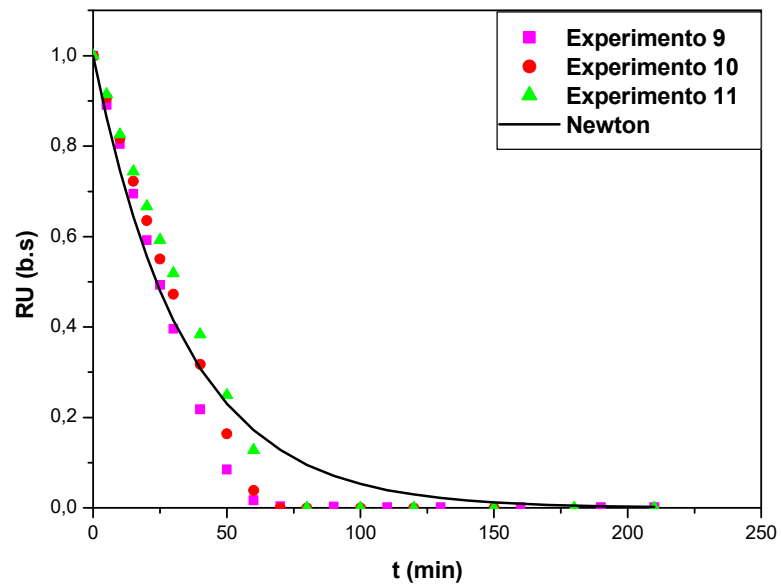


(b) Modelo de Henderson e Pabis

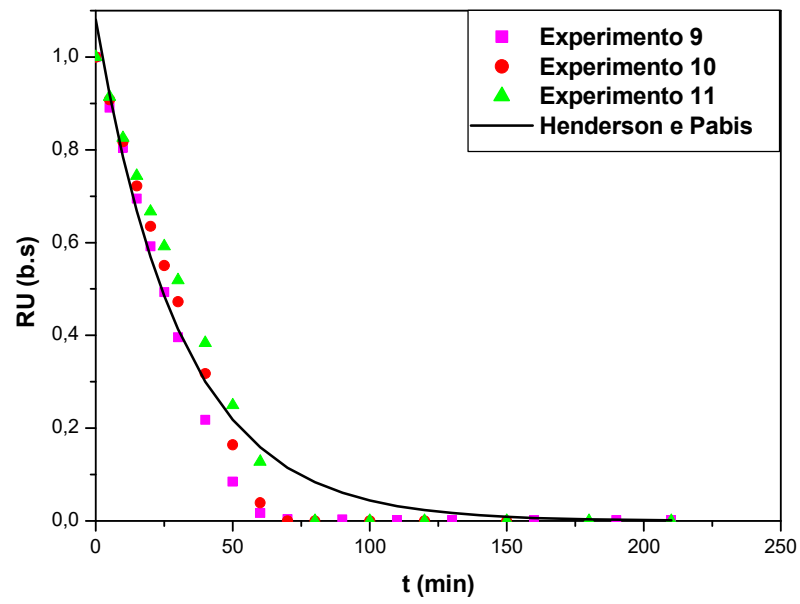


(c) Logaritmo

APÊNDICE B – Ajustes para os modelos de Newton (a) e Henderson e Pabis (b) na temperatura de 60 °C

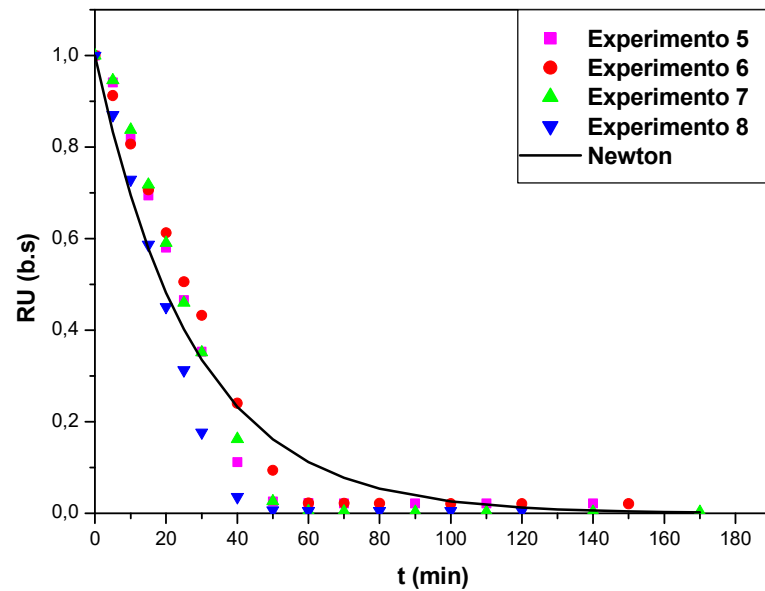


(a) Modelo de Newton

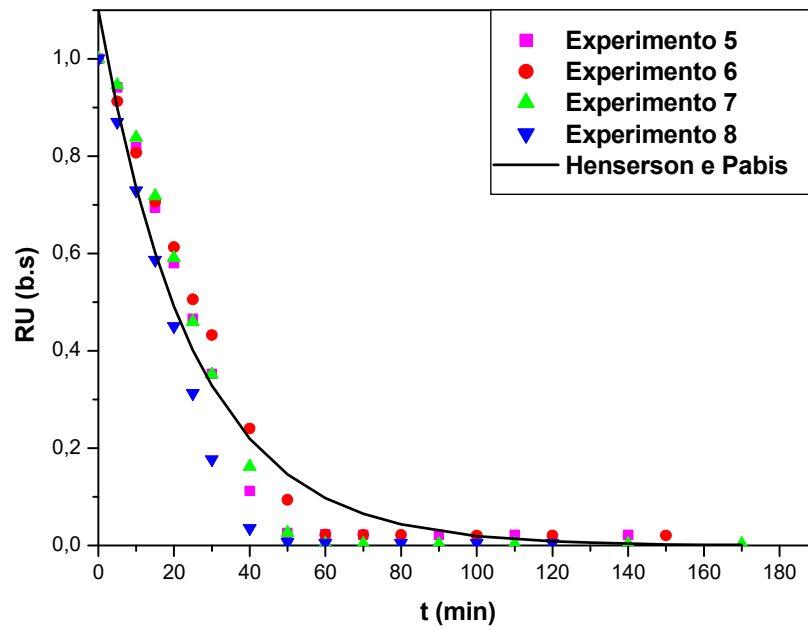


(b) Modelo de Henderson e Pabis

APÊNDICE C – Ajustes para os modelos de Newton (a) e Henderson e Pabis (b) na temperatura de 70 °C

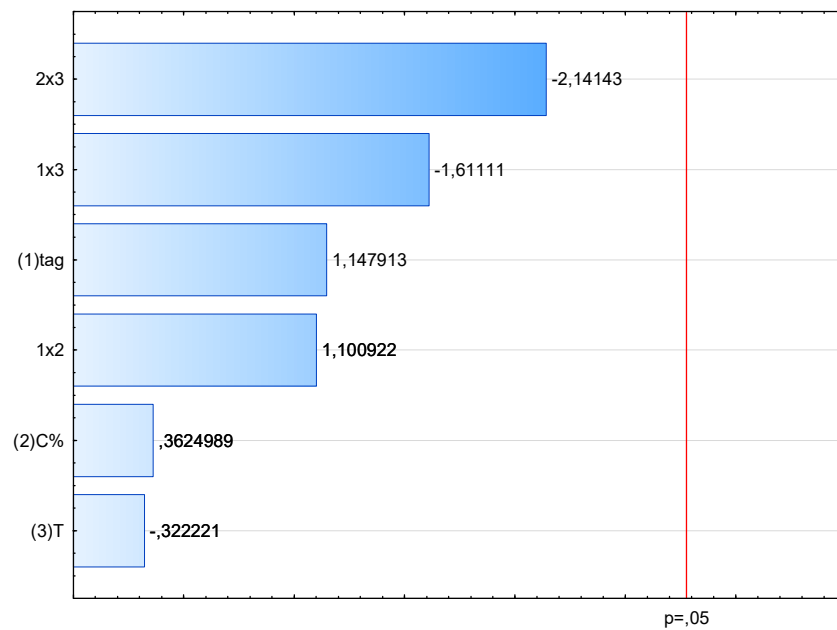


(a) Modelo de Newton

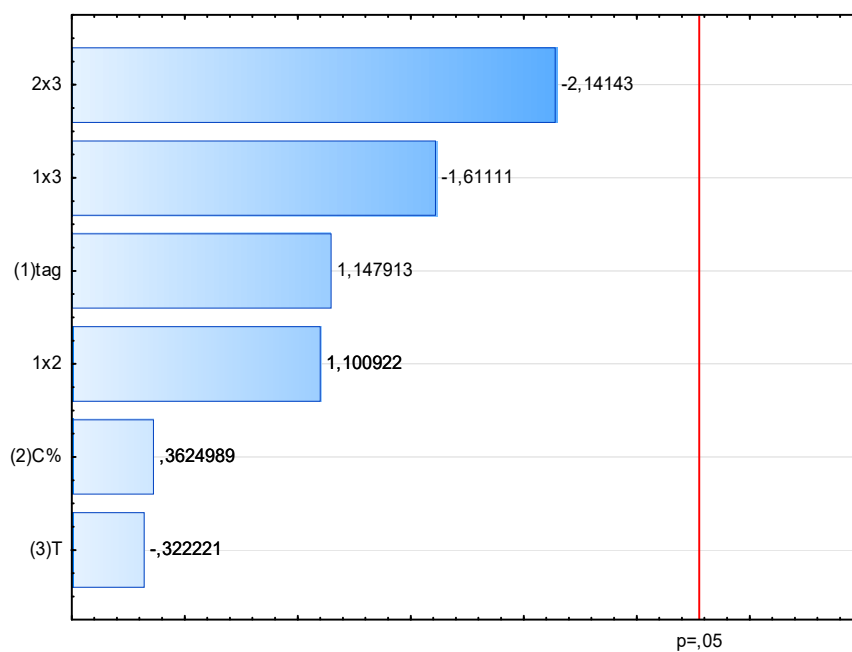


(b) Modelo de Henderson e Pabis

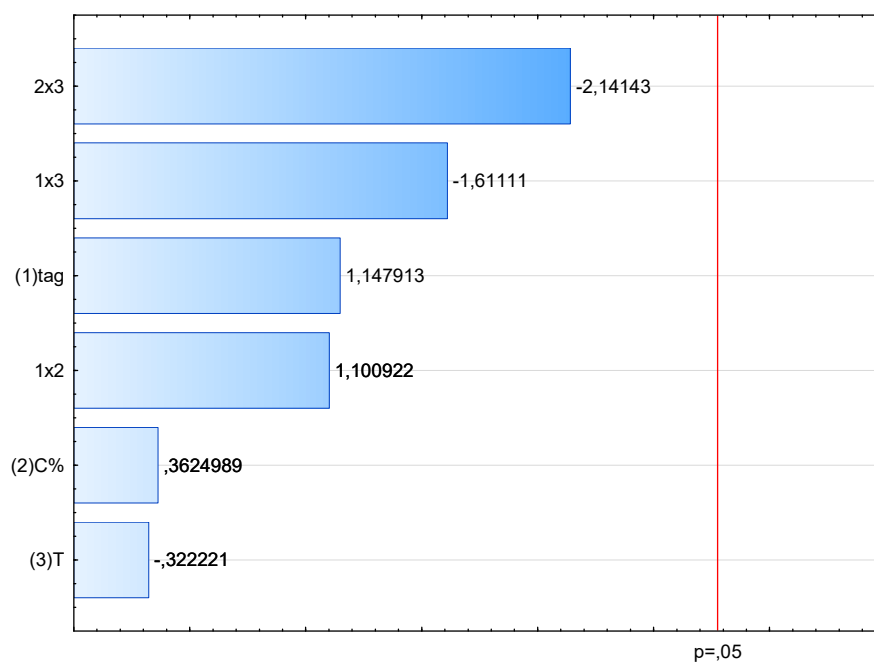
APÊNDICE D– Diagrama de Pareto para o rendimento do pó da folha do noni.



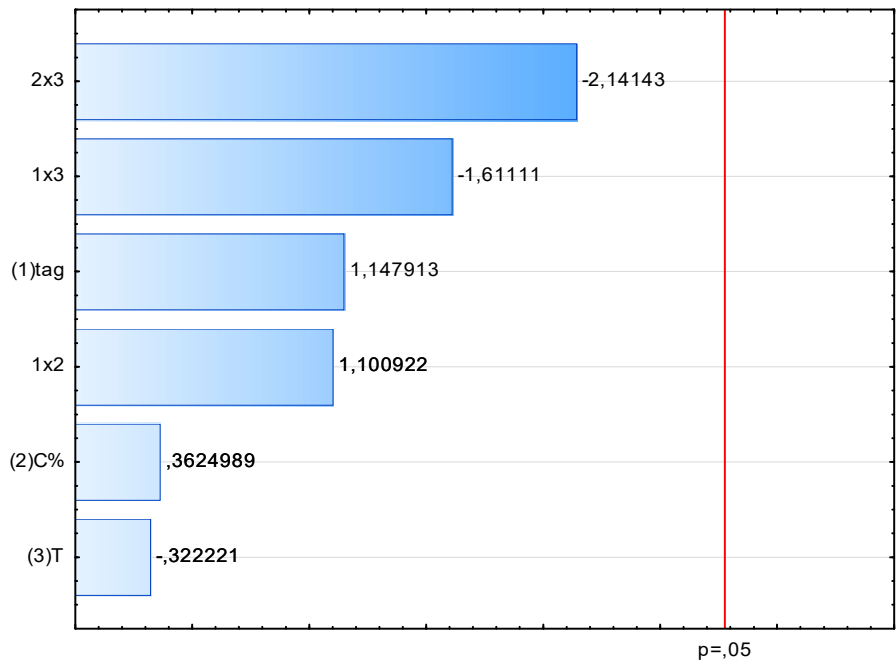
APÊNDICE E – Diagrama de Pareto para a solubilidade do pó da folha do noni.



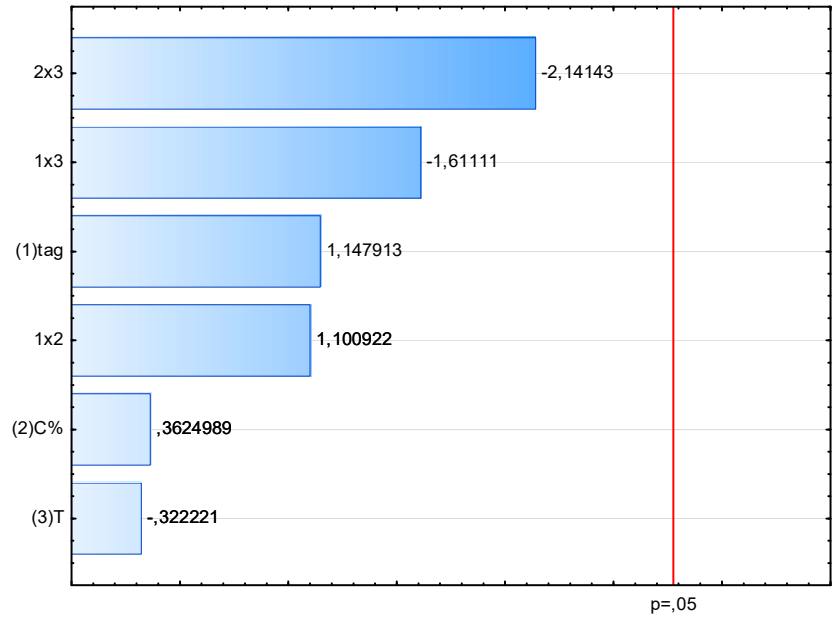
APÊNDICE F – Diagrama de Pareto para a atividade de água do pó da folha do noni



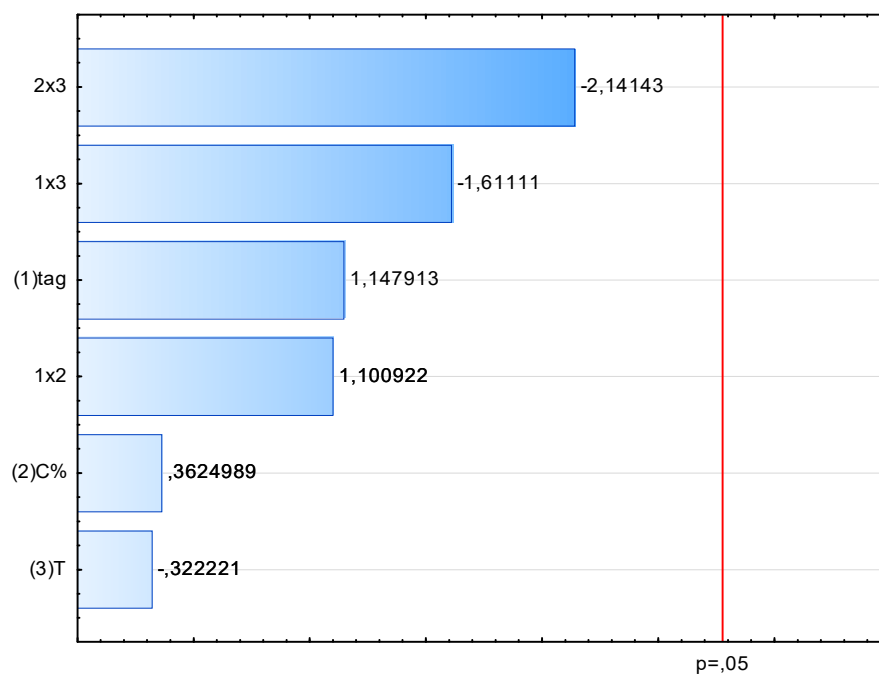
APÊNDICE G – Diagrama de Pareto para o pH do pó da folha de noni



APÊNDICE H – Diagrama de Pareto para a acidez do pó da folha de noni



APÊNDICE I – Diagrama de Pareto para o teor de cinzas do pó da folha do noni



APÊNDICE J – Diagrama de Pareto para o teor de ácido ascórbico da folha do noni

