

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ALIMENTOS
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS

ELOISA DIAS BARBOSA

**SECAGEM DO EXTRATO AQUOSO DE GENGIBRE (*Zingiber
officinale* Roscoe) PELO MÉTODO DE CAMADA DE ESPUMA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CAMPO MOURÃO

2016

ELOISA DIAS BARBOSA

SECAGEM DO EXTRATO AQUOSO DE GENGIBRE (*Zingiber officinale* Roscoe) PELO MÉTODO DE CAMADA DE ESPUMA

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Diplomação, do Curso Superior de Engenharia de Alimentos, do Departamento Acadêmico de Alimentos – DALIM – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro de Alimentos.

Orientador: Prof. Dr. Bogdan Demczuk
Junior

CAMPO MOURÃO

2016



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Campo Mourão

Departamento Acadêmico de Alimentos
Engenharia de Alimentos



TERMO DE APROVAÇÃO

SECAGEM DO EXTRATO AQUOSO DE GENGIBRE (*Zingiber officinale*
Roscoe) PELO MÉTODO DE CAMADA DE ESPUMA

por

ELOISA DIAS BARBOSA

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi apresentado dia 21 de junho de 2016 como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Alimentos. A candidata foi arguida pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Bogdan Demczuk Junior

Profª. Drª. Fernanda Vitória Leimann

Profª. Drª. Karla Silva

Nota: O documento original e assinado pela banca examinadora encontra-se no Departamento de Engenharia de Alimentos da UTFPR campus Campo Mourão.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar a Deus, que é bom com todos, mas comigo é extremamente maravilhoso, por ter guiado o meu caminho até aqui, me ajudando a passar por cada obstáculo e me mostrando sempre, não a mais fácil, mas a melhor estrada, me sustentando a cada desânimo e me levantando a cada tropeço, em quaisquer situações me fazendo acreditar que a realização de mais esta etapa seria possível.

A minha mãe Vilma Lino de Oliveira, minha eterna gratidão, por acreditar em mim, quando eu mesma não acreditava, pelo amor e cuidado de sempre, por não medir esforços para realização desse sonho, e por ter sonhado ele junto comigo, essa vitória é pra você.

Aos meus irmãos Gustavo e Rafael, a minha avó Maria e a todos os meus familiares por sempre estarem presentes mesmo de longe, me apoiando e me incentivando.

A minha prima Drieli que chegou no meio dessa jornada, mas se tornou mais essencial que o laço de sangue, se tornou minha irmã por opção.

Aos anjos que Deus colocou no meu caminho para que fosse possível chegar até aqui, as minhas amigas Claudia Aline, Tânia, Matheus, Eduardo, Nicolli, Maria, Nicole, Rachel, Davyllen, Kauanna e Bruna obrigada por serem minha família aqui, obrigada pelas noites de estudo e pelas noites de festa com toda a certeza levo cada um no coração pra sempre.

Em especial a minha amiga Luana, que esteve presente nas horas mais difíceis sempre me auxiliando no que fosse preciso, esse trabalho tem a sua participação e o seu apoio como sempre.

A mestranda, Fernanda Rubio, por toda a atenção, paciência e ajuda nas análises, ao aluno Michel por todo o auxílio na realização das análises. Vocês foram essenciais para a conclusão desse trabalho.

Ao Orientador Dr. Bogdan Demczuk Junior, por ser mais que um orientador, um amigo, nessa hora tão decisiva e difícil, primeiramente pela oportunidade, por todo ensinamento, mas principalmente pela paciência e confiança depositada a mim.

Aos professores da banca examinadora, Dra. Fernanda Vitória Leimann e a Dra. Karla Silva, por sugestões e críticas construtivas.

A todos os professores que me instruíram nestes cinco anos de graduação, levo cada aprendizado comigo agregando em minha vida grande conhecimento, vocês sempre serão os meus mestres.

“Feliz do homem que encontrou a sabedoria, daquele que adquiriu a inteligência, porque mais vale esse lucro que o da prata, e o fruto que se obtém é melhor que o fino ouro”.

Provérbios 3: 13-14

RESUMO

BARBOSA, Eloisa Dias. **Secagem do extrato aquoso de gengibre (*Zingiber officinale* Roscoe) pelo método de camada de espuma**. 2016. 48f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Engenharia de Alimentos), Departamento Acadêmico de Alimentos, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2016.

Pertencente à família botânica Zingiberaceae o gengibre (*Zingiber officinale* Roscoe) possui rizomas com aspecto de mãos disformes, ricos em água e amplamente utilizados na indústria alimentar como matéria prima. A secagem de sólidos surge como uma alternativa de conservação alimentícia, pois diminui o teor de água elevando a estabilidade do produto obtido, auxiliando na produção de novos produtos e redução de massa e volume, diminuindo assim consideravelmente os custos de transporte e manuseio. O método da secagem por camada em espuma proporciona o uso de baixa temperatura por períodos menores, devido à maior área de superfície exposta ao ar, originando produtos de melhor qualidade nutricional, com um baixo tempo operacional, quando comparado a outros tipos de secagem. O objetivo do presente trabalho foi utilizar o método de camada de espuma para secar um extrato aquoso de gengibre (EAG) e caracterizar o produto obtido. Foram realizados 11 experimentos, com quatro fatores variando em 3 níveis: temperatura (80, 70 e 60 °C), razão gengibre/água (0,5, 0,4 e 0,3 g/mL), Tempo de agitação (21, 14 e 7 min), e a espessura da camada de espuma (1,5, 1,0 e 0,5 cm). A combinação dos fatores foi obtida através do software Statística 7.0. Foi estudada e avaliada a cinética de secagem, através modelos matemáticos de Newton, Henderson-Pabis e Page. Foram determinadas as características físicas e químicas do pó obtido: densidade absoluta; densidade aparente atividade antioxidante; parâmetros de cor (L^* , a^* e b^*); porosidade; solubilidade e umidade. O modelo que melhor ajustou-se aos dados experimentais foi do de Page, pois apresentou maiores valores de R^2 (entre 97,29 a 99,57) e menores erros médios relativos (entre 1,47 a 7,42); para densidade absoluta, a maior resposta foi obtida à 80 °C, 0,5 g/mL de razão gengibre/água, 21 minutos de agitação da espuma e espessura da camada de 0,5 cm. Para a densidade aparente, obtiveram-se maiores valores com 0,4 g/mL de razão gengibre/água, 14 min de agitação, 1 cm de espessura do leito de espuma e 70 °C de temperatura. Para a atividade antioxidante, o pó obtido apresentou variação de 65,13% a 79,25%. Os parâmetros de cor (L^* , a^* e b^*) não foram influenciados significativamente pelos tratamentos. Com relação a porosidade, foram obtidos valores maiores com condições de 60 °C de temperatura, 0,5 g/mL de razão gengibre/água, 7 min de batimento e 1,5 cm de espessura. A respeito da solubilidade e umidade, ambas as variáveis apresentaram maiores valores (10,12% e 6,66% respectivamente) quando secos a 60 °C, com 21 min de agitação, 0,5 cm de espessura e 0,5 g/mL de razão gengibre/água. Em geral cada tratamento obteve uma característica destacada, sendo assim o melhor tratamento depende da área na qual pretende-se aplicar o produto.

Palavras-chave: *Zingiber officinale* Roscoe; gengibre; camada de espuma; cinética de secagem; caracterização física e química.

ABSTRACT

BARBOSA, Eloisa Dias. **Drying of ginger aqueous extract (*Zingiber officinale* Roscoe) through foam layer method.** 2016. 48p. Final Project Paper (Major in Food Engineering), Academic Department of Food, Technological Federal University of Parana. Campo Mourão, 2016.

Belonging to Zingiberaceae family, ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) has rhizomes with the aspect of misshapen hands, rich in water and widely used in food industry as raw material. The drying process of solids comes as an alternative for food conservation because it reduces the water level, increasing the final product stability, aiding to the development of new products and reduction of mass and volume, considerably decreasing the transportation and handling costs. The foam layer method provides the use of low temperatures and shorter dehydration time because the higher surface exposed to the air, creating products with a better nutritional quality, with a short operational time, when compared to other drying processes. The objective of this study was to use the foam mat method for drying an aqueous ginger extract (EAG) and characterize the product obtained. Eleven experiments were performed with four factors varying in three levels: temperature (60, 70 and 80 °C), relationship ginger/water (0.3, 0.4 and 0.5 g/mL), stirring time (7, 14 and 21 min), and the thickness of the foam layer (0.5, 1.0 and 1.5 cm). The combination of factors was obtained by the Statistica 7.0 software. It was studied and evaluated the drying kinetics, through mathematical models of Newton, Henderson-Pabis and Page. It was determined the physical and chemical characteristics of the powder obtained: absolute density; apparent density antioxidant activity; color parameters (L^* , a^* and b^*); porosity; solubility and moisture. The model with the best adjustment to the experimental data was the Page model, as showed higher R^2 values (between 97.29 to 99.57) and lower average relative errors (between 1.47 to 7.42%); Related to the absolute density, the highest response was obtained at 80 °C, 0.5 g/mL of ginger/water relationship, 21 minutes of stirring and the foam thickness of 0.5 cm. For the apparent density, higher values were obtained with 0.4 g/mL ginger/water relationship, 14 min of stirring, 1 cm of foam thickness and temperature of 70 °C. For the antioxidant activity, the obtained powder ranged from 65.13% to 79.25%. Color parameters (L^* , a^* and b^*) were not significantly affected by the treatments. With respect to porosity, higher values were obtained with conditions of 60 °C temperature, 0.5 g/mL of ginger/water relationship, 7 min of stirring and 1.5 cm of layer thickness. Regarding the solubility and humidity, both variables showed higher values (10.12% and 6.66% respectively) when dried at 60 °C with 21 min of stirring, 0.5 cm of layer thickness and 0.5 g/mL of ginger/water relationship. Generally, each treatment resulted prominent features, thus the best treatment depends on the area in which to apply the product.

Keywords: *Zingiber officinale* Roscoe; ginger; foam layer; drying process kinetics; physical and chemical characterization.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 –	PLANTA DE GENGIBRE CULTIVADA NO CAMPO EXPERIMENTAL DO CURU, DA EMBRAPA AGROINDÚSTRIA TROPICAL, MUNICÍPIO DE PARAIPABA, CE.....	13
FIGURA 2 –	RIZOMA DE GENGIBRE. PARAIPABA, CE, 2011.....	14
FIGURA 3 –	CINÉTICA DE SECAGEM PELO MÉTODO DE CAMADA DE ESPUMA DO EAG PARA 9 CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS.....	30
FIGURA 4 –	SUPERFÍCIE DE RESPOSTA PARA A SOLUBILIDADE (%) DO PÓ DE GENGIBRE OBTIDO PELA SECAGEM EM LEITO DE ESPUMA EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA DE SECAGEM (°C) E DA ESPESSURA DA BANDEJA (CM).....	35
FIGURA 5 –	EFEITO DAS VARIÁVEIS ESTUDADAS SOBRE A SOLUBILIDADE DO PÓ DE GENGIBRE OBTIDO ATRAVÉS DA SECAGEM EM LEITO DE ESPUMA.....	36
FIGURA 6 -	SUPERFÍCIE DE RESPOSTA PARA A UMIDADE (%) DO PÓ DE GENGIBRE OBTIDO PELA SECAGEM EM LEITO DE ESPUMA EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA DE SECAGEM (°C) E DA RAZÃO DE GENGIBRE/ÁGUA (g/mL)	37
FIGURA 7 -	EFEITO DAS VARIÁVEIS ESTUDADAS SOBRE A UMIDADE DO PÓ DE GENGIBRE OBTIDO ATRAVÉS DA SECAGEM EM LEITO DE ESPUMA.....	38

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 –	FATORES UTILIZADOS E SEUS RESPECTIVOS NÍVEIS CODIFICADOS E NÃO CODIFICADOS.....	21
TABELA 2 –	DELINEAMENTO FATORIAL COMPLETO COM TRÊS REPETIÇÕES NO PONTO CENTRAL.....	22
TABELA 3 –	MODELOS MATEMÁTICOS UTILIZADOS PARA DESCREVER O PROCESSO DE SECAGEM.....	24
TABELA 4 –	PARÂMETROS CALCULADOS, R^2 E P (%) PARA AJUSTE DOS DADOS DE SECAGEM DO EAG COM O MODELO MATEMÁTICO DE PAGE.....	32
TABELA 5 -	ANÁLISES PARA A CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA DO EAG.....	33

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. OBJETIVOS	12
2.1 OBJETIVO PRINCIPAL.....	12
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
3.1. GENGIBRE	13
3.2. SECAGEM	16
3.3. SECAGEM EM LEITO DE ESPUMA	17
3.3.1. AGENTES ESPUMANTES.....	19
4. MÉTODOS E PROCEDIMENTOS	20
4.1 MATÉRIA-PRIMA.....	20
4.2 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL	20
4.3 OBTENÇÃO DO EXTRATO AQUOSO DE GENGIBRE (EAG).....	21
4.4 PRODUÇÃO DA ESPUMA.....	22
4.5 SECAGEM	22
4.6 MODELAGEM DO PROCESSO DE SECAGEM	23
4.7 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA DO EAG	23
4.7.1 ESTABILIDADE DA ESPUMA	23
4.7.2 SOLUBILIDADE DO PÓ	24
4.7.3 DENSIDADE APARENTE	24
4.7.4 DENSIDADE REAL	25
4.7.5 POROSIDADE INTRAGRANULAR.....	26
4.7.6 ANÁLISE COLORIMÉTRICA	26
4.8 ATIVIDADE ANTIOXIDANTE	27
4.8.1 OBTENÇÃO DOS EXTRATOS HIDROETANÓLICOS	27
4.8.2 ANÁLISE DA ATIVIDADE ANTIOXIDANTE PELO MÉTODO DPPH	27
4.9 ANÁLISE ESTATÍSTICA	28
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	29
6. REFERÊNCIAS	39

1. INTRODUÇÃO

O gengibre (*Zingiber officinale Roscoe*) pertence à família Zingiberaceae, a qual se distribui amplamente na região sudoeste da Ásia e do Arquipélago Malaio, incluindo mais de 1200 espécies distribuídas em 53 gêneros (ELPO, 2004).

É originário do Oriente, sendo conhecido na Europa desde a época das grandes navegações, quando foi trazido das Índias juntamente com outras especiarias. No Brasil, o gengibre chegou após menos de um século do descobrimento (MENDES, 2005). O cultivo do gengibre é executado principalmente nos estados do sul do Brasil, destacando-se por destinar grande parte de sua produção ao mercado exterior (DEBIASI et al., 2004). O principal uso do gengibre é na indústria alimentícia como ingrediente de diversas formulações para molhos, sopas, embutidos e em produtos de padaria e confeitaria (MAGALHÃES et al., 1997).

A secagem surge como uma alternativa de conservação alimentícia, tecnologia bastante utilizada, pois diminui o teor de água elevando a estabilidade do produto obtido. A técnica é empregada visando diversas finalidades, como produção de novos produtos, redução de massa e volume, mas o objetivo principal é o aumento do tempo de conservação do alimento. Associado a isto, a perda de massa que ocorre quando um alimento é seco diminui consideravelmente os custos de transporte e manuseio (AREVÁLO-PINEDO; MURR, 2005).

A secagem em camada de espuma (*foam-mat drying*) foi desenvolvida em 1959 por Arthur Morgan Jr. e seus colaboradores no Departamento de Agricultura dos Estados Unidos e patenteado em 1961 (SOUZA, 2011). Este método consiste basicamente de três etapas: modificação na consistência líquida do alimento em uma espuma estável, pela adição de agentes espumantes, secagem do material em camada fina e pulverização do material desidratado (TRAVAGLINI et al., 2001).

Segundo Karim e Wai (1999), durante o processo de secagem, se a espuma não permanecer estável, ocorre colapso celular, acarretando assim efeitos negativos na qualidade final do produto, uma vez que a secagem será comprometida. Os agentes emulsificantes são moléculas com características anfifílicas que se adsorvem na interface entre a fase dispersante e a dispersa durante o processo de emulsificação (BROOKS et al., 1998; SCHULLER; ROMANOWSKI, 1998).

Entre os agentes espumantes mais utilizados, pode ser citada a albumina em pó, um alimento hiperproteico, à base exclusivamente de proteínas de alto valor biológico, geralmente, derivada de ovos. Devido à sua alta digestibilidade e por conter todos os aminoácidos essenciais nas quantidades e proporções ideais, a albumina é reconhecida como a mais rica proteína animal. Na indústria, é empregada como emulsificante em alimentos e cosméticos (WEIJERS, 2002).

Por ser um processo simples e barato que garante a obtenção de produtos em pó com características preservadas, a secagem em leito de espuma oferece grandes possibilidades comerciais, principalmente para alimentos sensíveis ao calor. Vem sendo aplicada em diversos produtos como: polpa de tomate (FERNANDES et al., 2013), polpa de ceriguela (FURTADO et al., 2010), abóbora (CARVALHO, 2014), manga (WILSON, 2012), polpa de mamão (COELHO et al, 2010), mandacaru (MELO et al.,2013), cupuaçu (SOUZA, 2011) e outros.

A principal vantagem desse método, quando comparado a outros métodos de secagem de alimentos líquidos como spray-drying ou secagem por tambor, são as possibilidades de serem utilizadas temperaturas mais baixas e curtos tempos de secagem. Essas vantagens podem ser explicadas pela estrutura da espuma, que permanece inalterada durante o processo e proporciona o aumento da área exposta ao ar quente, facilitando assim a saída da água, o que preserva características como sabor, o valor nutricional e alguns constituintes de interesse (CARNEIRO, 2008; MARQUES, 2009).

Até o momento, nenhum estudo relacionado à aplicação da secagem pelo método da camada de espuma para obtenção de produtos de gengibre foi encontrado em literatura. A técnica pode representar facilidades no incremento da cadeia produtiva do rizoma, ampliando sua aplicação como ingredientes em diferentes tipos de alimentos. Desta forma, o presente trabalho teve como objetivo aplicar a técnica de secagem em camada de espuma para o extrato aquoso de gengibre (EAG) e avaliar o efeito das condições de processo no pó obtido.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO PRINCIPAL

Utilizar o método de camada de espuma para secagem de extrato aquoso de gengibre (EAG) e avaliar a influência das condições aplicadas sobre as características do produto obtido.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Selecionar o aditivo a ser utilizado e a concentração deste a ser adicionado ao EAG com base na estabilidade das espumas formadas;
- Avaliar a aplicação da metodologia de superfície de resposta na secagem do EAG;
- Estudar o comportamento e a cinética de secagem do EAG;
- Determinar as características físicas e químicas (densidade aparente, densidade absoluta, porosidade intragranular, solubilidade, umidade, análise colorimétrica e atividade antioxidante) do EAG seco.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. GENGIBRE

O gengibre (*Zingiber officinale* Roscoe) é uma planta pertencente à família botânica Zingiberacea. É uma erva rizomatosa, sendo sua parte aérea formada por um caule herbáceo, ereto, com cerca de 50 cm de altura, apresentando folhas lanceoladas, invaginantes e alternadas (Figura 1). As flores são hermafroditas, de cor branca amarelada, organizadas em inflorescências com espigas ovoides, que se formam no ápice dos escapos ou pedúnculos saídos do rizoma e possuem as metades laterais simétricas; o fruto consiste numa cápsula que se abre em três lóculos, e as sementes são azuladas com albúmen carnososo (FERRI *et al.*, 1981; CORREA JUNIOR, 1994). Os rizomas têm aspecto de mãos disformes (Figura 1B), cobertos de casca tênue e parda, compactos, ricos em água (MATOS, 2004).



Figura 1. *Zingiber officinale* Roscoe: visão geral da planta e detalhes das flores.

FONTE: BEAL (2006).

O gengibre é conhecido por seu sabor picante e odor levemente cítrico no mundo todo. A sua cultura tornou-se efetivamente comercial no Brasil somente nas últimas décadas, após a introdução da variedade de rizomas gigantes por agricultores japoneses (TAVEIRA MAGALHÃES et al., 1997). O Brasil está entre os pequenos produtores, destinando a maior parte da sua produção para a exportação, de 70 à 80%, e comercializando o gengibre principalmente no seu estado fresco. Os principais países importadores são os Estados Unidos, Reino Unido, Holanda e Canadá (NEGRELLE; ELPO; RÜCKER, 2005).

Atualmente, o estado do Paraná é um dos maiores produtores nacionais de gengibre (rizomas *in natura*) sendo que a maior área plantada está concentrada no litoral e totaliza 1232 toneladas por ano (NEGRELLE et al., 2005; DE ALMEIDA et al., 2007). Nesse estado, a cultura do gengibre ocupa uma área aproximada de 100 ha, englobando 24 municípios produtores. O município de Morretes, na região litorânea, é responsável por 70 a 90% do volume de exportações brasileiras (ELPO et al., 2004; PARANÁ, 2007).

O gengibre é uma especiaria comumente utilizada devido ao seu aroma doce e sabor pungente. Apresenta em sua composição oleorresina, de 1% a 4% de óleo essencial (ZANCAN et al., 2002), alto teor de água (80 a 90 %) e quantidade considerável de amido e fibras (5,4 a 16,2 %) (TAVEIRA MAGALHÃES et al., 1997). Seus rizomas são conhecidos devido a sua atividade antioxidante (JITOE et al., 1992).

O óleo essencial é uma mistura de substâncias voláteis, lipofílicas, odoríferas e líquidas (SIMÕES; SPITZER, 2003), enquanto a oleorresina contém, além dos constituintes aromáticos voláteis, os componentes não voláteis, responsáveis pela pungência característica do gengibre (TAVEIRA MAGALHÃES et al., 1997).

A composição dos rizomas e dos seus óleos essenciais pode sofrer influência de fatores como a origem geográfica, radiação, temperatura, método de secagem, época de colheita, solo, entre outros (GOUINGUENÉ; TURLINGS, 2002; ELPO, 2004).

O gengibre contém também substâncias fenólicas, cetonas aromáticas conhecidas como gingeróis que são os componentes farmacologicamente mais ativos (ZICK et al., 2009). A ciência ocidental confirmou muitas das indicações tradicionais do gengibre e constatou que ele possui atividades antieméticas, anti-

inflamatórias e espasmolíticas, além de estimular a secreção gástrica e a salivação, estimular a circulação periférica e aumentar a motilidade gástrica (MCKENNA et al., 2002)

A preocupação com a substituição dos aditivos sintéticos (conservantes e antioxidantes) utilizados pela indústria de alimentos, como o BHA e o BHT, por produtos naturais aumenta o interesse por métodos de extração e caracterização de compostos com potencial atividade antioxidante e efeito antimicrobiano a partir de fontes naturais. Estes compostos estão presentes nas mais diversas espécies vegetais, em várias partes da planta, como nos frutos, sementes, folhas e raízes (RICE-EVANS; MILLER; PAGANGA, 1997).

No entanto, o emprego de antioxidantes sintéticos na indústria de alimentos tem sido alvo de questionamentos quanto a sua inocuidade e, devido a isso, pesquisas estão voltadas para a busca de compostos naturais que exibam esta propriedade funcional, atuando sozinhos ou sinergisticamente com outros aditivos, como alternativa para prevenir a deterioração oxidativa de alimentos e diminuir o uso dos antioxidantes sintéticos (MELO; GUERRA, 2002).

Com relação a utilização do gengibre como matéria-prima, o rizoma é utilizado pelo emprego alimentar e industrial, principalmente como matéria-prima para fabricação de bebidas, perfumes e produtos de confeitaria como pães, bolos, biscoitos e geleias (ELPO; NEGRELLE, 2004). Segundo Francisco et al. (2007), no Brasil, os produtos disponíveis no mercado são amido do gengibre, balas e cristais de gengibre e bebida alcoólica com gengibre, além do produto em pó.

Apesar da maior parte do comércio de gengibre ser feito na forma *in natura*, como trata-se de um produto com alto teor de umidade (cerca de 80%), a secagem torna-se uma alternativa para sua conservação, além de permitir o transporte do produto sem necessidade de refrigeração (MENDES, 2005). Portanto, a comercialização também pode ser realizada nas formas de conserva, cristalizado e seco. Na forma desidratada, o gengibre pode apresentar umidade de cerca de 12%, e comercializado em peças íntegras, laminado ou ainda em pó. Geralmente essas operações podem ser realizadas no país importador (ELPO et al., 2004).

3.2. SECAGEM

A secagem consiste na redução da atividade de água dos alimentos pelo processo de remoção do componente presente no interior. O teor de água de um alimento é um dos elementos responsáveis pela aceleração do processo de deterioração, portanto qualquer método que diminua essa quantidade de água disponível possibilita a prolongação da vida de prateleira do alimento (CASAGRANDE, 2001). Em relação aos outros métodos de conservação para períodos longos, como a refrigeração ou tratamentos químicos, a secagem oferece custos mais baixos e operações mais simples (CANO-CHAUCA et al., 2005).

Presente em muitos processos industriais das mais diversas áreas, a secagem de sólidos é uma das mais antigas e usuais operações unitárias encontradas nas indústrias agrícolas, químicas, alimentícias, entre outras (PARK et al., 2007).

A primeira máquina para desidratação de frutas e vegetais foi criada na França, no ano de 1795. Entretanto, os primeiros grandes impulsos ao desenvolvimento da indústria de alimentos desidratados ocorreram durante as grandes guerras mundiais (SILVA, 2013).

A secagem consiste nos processos de transferência simultânea de calor e massa com mudança de fase, em que o ar aquecido transfere energia na forma de calor suficiente ao alimento até atingir o calor latente de vaporização de água. A taxa de secagem é determinada pelos diversos fatores que governam esse mecanismo de transferência, sendo os principais: as condições psicrométricas, a velocidade do ar de secagem, o tempo de residência e a condição do produto e suas características como pressão de vapor, área superficial, e o mecanismo de difusão da água no seu interior (BOEIRA, 2007).

Uma série de vantagens pode ser obtida através da secagem, como a comercialização dos produtos no período de entressafra, o fato destes ficarem ainda mais leves e menores (ARÉVALO-PINEDO; MURR, 2006; GUINÉ *et al.*, 2011); tornar viável o armazenamento por períodos mais longos sem que apresente risco de deterioração (SILVA, 2008); e ainda, uma vez que não necessita de refrigeração para conservar o alimento, gera economia de energia (GEANKOPLIS, 1993).

A água pode ser removida dos alimentos por vários métodos, desde as práticas milenares de secagem ao sol, até as práticas mais sofisticadas como a do spray-drying (CASAGRANDE, 2001). A escolha do método depende de vários fatores, dentre os quais se destacam: tipo de produto, disponibilidade de secador, custo de secagem e finalidade do produto desidratado (SAGAR; KUMAR, 2010).

Existem vários métodos para a redução do teor de água no alimento como a liofilização, atomização, secagem convencional e em leito de espuma, entre outros. Os diferentes métodos podem apresentar várias particularidades, como tempo de secagem, qualidade do produto final, gasto energético e produto final com características distintas, além de utilizar equipamentos diversos (BARRETO, 2010).

3.3. SECAGEM EM LEITO DE ESPUMA

A secagem em leito de espuma (*foam-mat drying*) é uma das técnicas empregadas para a obtenção de produtos alimentícios em pó (SILVA, 2008). A forma de secagem onde o extrato, ou líquido trabalhado, é transformado em um concentrado na forma de espuma estável, sendo posteriormente distribuído em camadas finas e então submetidas a uma corrente de ar quente até desidratação total (AGUIRRE; FILHO, 1999).

Esse processo tem como objetivo obter um produto de melhor qualidade nutricional, com um baixo tempo operacional, quando comparado a outros tipos de secagem. O alimento primeiramente é convertido em uma espuma estável por meio da adição de agentes espumantes e incorporação de ar em batedeiras ou outros equipamentos geradores de espuma. A incorporação de ar aumenta a capilaridade do alimento em questão, auxiliando a passagem de vapor de água do interior do alimento até o ar de secagem. Em seguida, a espuma obtida deve ser espalhada em bandejas, que são levadas à câmara de secagem (BARRETO, 2010).

De forma geral, a taxa de secagem pelo método de leito de espuma é maior do que nos demais métodos não espumados, quando se utiliza um mesmo tipo de secador (WILSON et al., 2012; THUWAPANICHAYANAN et al., 2012). Esse método proporciona o uso de baixa temperatura e menor tempo de desidratação, devido à maior área de superfície exposta ao ar (SILVA, et al., 2008).

Esta técnica é aplicada à secagem de alimentos líquidos ou semilíquidos, permitindo uma rápida secagem, muito usada em sucos de frutas e para alimentos pastosos como purês e polpas de frutas (RAJKUMAR et al., 2007; THUWAPANICHAYANAN et al., 2008). Com a característica de manter a alta qualidade dos produtos, oferecendo grandes possibilidades comerciais, sendo aplicadas em café, sucos de laranja, uva, carambola, abacaxi e outros produtos instantâneos (SANKAT; CASTAIGNE, 2004).

A secagem de polpa de produtos agrícolas pela secagem em leite de espuma permite a possibilidade da estocagem do material em temperatura ambiente sem a necessidade de refrigeração, tendo como consequência, menores gastos com a conservação (FURTADO et al., 2010). Este método é adequado para alimentos viscosos e sensíveis ao calor (RAJKUMAR et al., 2007).

Como desvantagens, além do elevado custo para grandes demandas de produção, esse método necessita da utilização de agentes espumantes, que podem modificar as características sensoriais do alimento como sabor, aroma e cor. Outra desvantagem e ponto crítico do processo é a dificuldade encontrada na formação da espuma e sua estabilidade durante o processo de secagem. A formação, a densidade e a estabilidade das espumas são afetadas por diversas variáveis como a natureza química do material, teor de sólidos solúveis e, principalmente, pelo tipo e concentração do agente espumante (CARNEIRO, 2008; MARQUES, 2009).

Deve-se ressaltar que, a temperatura de secagem a ser utilizada nesse método, depende do produto a ser desidratado. Segundo Gurjão (2006) as temperaturas de 60 e 70 °C apresentaram melhores respostas durante a secagem de tamarindo pelo método espuma. Estudos realizados sobre o efeito da temperatura sobre a qualidade físico-química do pó do abacaxi, e as propriedades bioquímicas da manga em pó, quando expostos a secagem pelo método em leite de espuma, observaram que a temperatura de 65 °C resultou em uma melhor manutenção da qualidade nutricional (KADAM et al. 2012).

3.3.1. ADITIVOS

O método de secagem em leite de espuma utiliza agentes espessantes, emulsificantes ou estabilizantes, ou mesmo a combinação destes, tendo como objetivo manter a espuma estável durante o processo de desidratação (LISBÔA et al., 2012).

A escolha dos aditivos e a concentração dos mesmos devem ser feitas em função da matéria prima em estudo (SEGURA, et al., 1990). Diversos aditivos vêm sendo estudados na secagem em leite de espuma, com intuito de avaliar o efeito desses produtos durante a desidratação, tais como: albumina em manga e tomate (RAJKUMAR et al., 2007; KADAM, BALASUBRAMANIAN, 2010); Emustab® em acerola (SOARES et al., 2001).

O Emustab® é um estabilizante à base de mono e diglicerídeos destilados que pode ser utilizado na produção de espumas de polpa de fruta (PINTO, 2009). Segundo Carvalho (1988), no estudo da produção de polpa de abóbora em pó pelo processo de secagem em leite de espuma, dentre os quatro aditivos testados (Emustab®, superliga®, maltodextrina e albumina), o Emustab® foi o que se destacou devido suas melhores características de massa específica, expansão e estabilidade.

Pinto (2009) utilizou os aditivos albumina, Emustab®, maltodextrina e Superliga® na caracterização da espuma de jenipapo, para secagem em leite de espuma e concluiu também que o Emustab® foi o aditivo que, nas concentrações usadas, apresentou-se como o melhor para uma posterior secagem.

Já no estudo da caracterização de aditivos para secagem de araçá-boi em leite de espuma, a albumina, quando comparada com os outros aditivos (Emustab®, superliga, maltodextrina), mesmo na menor concentração usada funciona como bom agente espumante para o processo de secagem em leite de espuma, fornecendo um com as características físico-químicas mais concentradas que a da polpa *in natura* (SOARES, 2009).

4. MÉTODOS E PROCEDIMENTOS

4.1 MATÉRIA-PRIMA

O gengibre utilizado nos experimentos foi adquirido no comércio local da cidade de Campo Mourão (PR) no período de agosto a dezembro de 2015.

Os aditivos utilizados, albumina (a granel) e Emustab® (Selecta), foram escolhidos através de testes preliminares, onde foram testados sozinhos e em diferentes combinações de concentração. Ambos foram adquiridos em uma loja de produtos naturais, localizada também comércio local da cidade de Campo Mourão (PR) no período de agosto a dezembro de 2015.

Os demais reagentes necessários foram todos de grau analítico e fornecidos pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

4.2 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

Os experimentos foram realizados sob diferentes condições, seguindo um delineamento fatorial com três níveis e quatro fatores (3^4). As variáveis do processo escolhidas foram a temperatura de secagem (fator 1), razão gengibre/água (fator 2), Tempo de agitação (fator 3), e a espessura da camada de espuma (fator 4). As respostas avaliadas foram densidade absoluta, densidade aparente, atividade antioxidante, parâmetros de cor (L^* , a^* e b^*), porosidade, solubilidade e umidade. Na Tabela 1 são mostrados os níveis codificados e não codificados dos fatores.

Tabela 1. Fatores utilizados e seus respectivos níveis codificados e não codificados

Fator	Nível		
	-1	Ponto central	+1
Temperatura secagem (°C)	60	70	80
Razão gengibre/água (g.mL ⁻¹)	0,3	0,4	0,5
Tempo de agitação (min)	7	14	21
Espessura da camada de espuma (cm)	0,5	1,0	1,5

Na Tabela 2 é mostrado o delineamento experimental obtido através do *software* Statistica 7.0 para as condições propostas expresso na forma de variáveis reais.

Tabela 2. Delineamento fatorial completo com três repetições no ponto central

Experimentos	Níveis das variáveis independentes codificadas			
	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4
1	+1	-1	+1	-1
2	+1	+1	-1	-1
3	-1	-1	+1	+1
4	-1	+1	+1	-1
5	-1	-1	-1	-1
6	+1	+1	+1	+1
7	-1	+1	-1	+1
8	+1	-1	-1	+1
9	0	0	0	0
10	0	0	0	0
11	0	0	0	0

4.3 OBTENÇÃO DO EXTRATO AQUOSO DE GENGIBRE (EAG)

Para a realização dos experimentos, os rizomas foram lavados em água corrente, removendo-se o excesso da água com um pano limpo e seco. Manualmente, com auxílio de uma faca, os “dedos” com defeitos e as partes com podridão foram

retiradas e o rizoma descascado. O gengibre sem casca foi cortado em pedaços menores e triturado, em diferentes razões gengibre/água (Tabela 1), com o auxílio de um liquidificador doméstico até formar uma pasta. Em seguida, as fibras foram retidas em peneira de aproximadamente 1 mm de abertura e o extrato aquoso foi utilizado nos experimentos.

4.4 PRODUÇÃO DA ESPUMA

A espuma foi obtida através da adição de dois agentes espumantes, Albumina (5%) e Emustab® (5%), em concentrações pré-determinadas por testes visando a estabilidade da espuma. A incorporação destes ao extrato foi realizada com o auxílio batedeira doméstica, variando-se no tempo de batimento, como descrito na Tabela 1.

4.5 SECAGEM

Para a realização da secagem da espuma de gengibre, foi utilizada uma estufa (Cienlab), com circulação forçada de ar (2 m.s^{-1}). Os experimentos de secagem foram realizados em temperaturas três diferentes (60, 70 e 80 °C).

A camada de espuma foi acondicionada em bandejas de alumínio (15 x 20 cm) com três espessuras distintas (0,5, 1,0 e 1,5 cm). Em seguida a massa inicial do conjunto (bandeja + amostram) foi registrada. As bandejas foram então posicionadas dentro da estufa de forma que a maior área possível ficasse exposta ao fluxo de ar.

Posteriormente, a leitura da massa do conjunto foi realizada a cada 10 minutos, durante os primeiros 60 minutos. Em seguida, a leitura foi feita a cada 15 minutos, durante 60 minutos e a seguir, a cada 20 minutos, até massa constante. O material seco foi retirado, triturado manualmente com almofariz e pistilo e armazenado em embalagens de plástico fechadas e identificadas, em temperatura ambiente, até o momento das análises.

4.6 MODELAGEM DO PROCESSO DE SECAGEM

A variação da umidade ao longo do processo foi representada pelos modelos matemáticos de Newton, Henderson-Pabis e Page. (Equações 1, 2 e 3, respectivamente) (REIS, 2011).

Tabela 3. Modelos matemáticos utilizados para descrever o processo de secagem

Modelo	Equação	
Henderson & Pabis	$MR = a \exp(-bt)$	(1)
Page	$MR = \exp(-ct^n)$	(2)
Newton	$MR = \exp(-dt)$	(3)

Onde:

MR = razão entre as umidades (adimensional);

a, b, c, d, n = constantes das equações;

t = tempo (min).

Para verificar a qualidade do ajuste de cada modelo matemático, foi realizada análise de regressão não-linear, através do método de Gauss-Newton, utilizando o programa computacional Statistica 7.0. A seleção dos modelos ocorreu de acordo com o coeficiente de determinação (R^2), do erro percentual (P) (LEWICKI, 2008).

4.7 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA DO EAG

4.7.1 ESTABILIDADE DA ESPUMA

O teste de estabilidade consistiu em avaliar o volume de líquido drenado em temperatura ambiente por um período de 120 minutos para cada espuma, conforme Raharitsifa et al. (2006) e Marinova et al. (2009).

O índice de estabilidade (adimensional) foi calculado através da Equação 4:

$$\text{Índice de estabilidade} = \frac{\Delta V \text{ espuma}}{V_0 \text{ espuma}} \quad (\text{Equação 4})$$

Onde, o volume da espuma (ΔV espuma), em mL, é calculado pela diferença entre o volume inicial da espuma e o líquido drenado na proveta, e V_0 corresponde ao volume inicial da espuma no tempo zero.

4.7.2 SOLUBILIDADE DO PÓ

A solubilidade do pó de gengibre foi determinada de acordo com o método de Eastman e Moore (1984), com algumas modificações. Primeiramente 100 mL de água destilada foram transferidos para um copo de béquer e então 1g de amostra (base seca) foi cuidadosamente adicionado. A solução foi agitada com agitador de hélice (Fisaton) em alta velocidade por 5 min. A solução foi colocada em tubos do tipo *falcon* e centrifugada em 3000 rpm durante 5 min. Uma alíquota de 25mL do sobrenadante foi recolhida e imediatamente colocado em placas de petri, previamente secas e de massa conhecida. As placas foram colocadas em estufa a 105 °C por até peso constante, em seguida resfriadas em dessecador e pesadas. A solubilidade foi calculada pela diferença de peso, de acordo com a Equação 5:

$$\text{Solubilidade \%} = \frac{\text{massa de pó no sobrenadante}}{\text{massa de pó total}} \times 100 \quad (\text{Equação 5})$$

4.7.3 DENSIDADE APARENTE

A densidade aparente (ρ_a) das partículas em pó foi medida de acordo com a metodologia adaptada de Goula e Adamopoulos (2008). Aproximadamente 5 g do pó foram livremente dispensados no interior de uma proveta graduada com capacidade de 25 mL (escala de 1 mL). A proveta e seu conteúdo foram manualmente compactados por repetidos movimentos verticais sob uma superfície macia a uma altura de aproximadamente 14 ± 2 cm até que não fosse observada

diferença no volume do pó. Através da relação entre a massa de pó conhecida (aproximadamente 5 g) e o volume visualizado na proveta, o valor da densidade aparente (kg/m^3) foi calculado (Equação 6). As medições foram efetuadas à temperatura ambiente e em três repetições para cada uma das amostras.

$$\rho_a = \frac{m_s}{v_s} \quad (\text{Equação 6})$$

Onde: ρ_a corresponde a densidade aparente (kg/m^3); m_s é a massa do sólido (kg) e V_s o volume ocupado pelo sólido (m^3).

4.7.4 DENSIDADE REAL

A densidade real corresponde a massa de sólidos em relação ao volume ocupado sem ter em conta qualquer espaço poroso. No cálculo da densidade real aplicou-se, o método do picnômetro. O picnômetro é um pequeno frasco de vidro construído cuidadosamente de forma que o seu volume seja invariável, que possui uma abertura suficientemente larga e uma tampa polida, provida de um orifício capilar longitudinal.

No experimento, pesou-se o picnômetro (10mL) vazio e seco (P1); preencheu-se o picnômetro com água destilada para que se pudesse conhecer seu volume real ($V_{\text{picnômetro}}$), sendo a densidade da água considerada $1(\text{kg/m}^3)$. Com o picnômetro seco, tarou-se a balança e a amostra de gengibre ($\pm 2\text{g}$) em pó foi colocada dentro do picnômetro e pesou-se novamente (P2); Aferiu-se o picnômetro, que já continha o sólido, com água destilada (eliminando sempre as bolhas de ar presentes) e pesou-se todo o sistema (picnômetro + água + sólido) (P3). Calculou-se o volume de água ocupado no picnômetro ($V_{\text{água}}$) aplicando-se a Equação 7. Calculou-se então o volume do sólido presente no picnômetro ($V_{\text{sólido}}$) aplicando-se a Equação 8. Por fim calculou-se a densidade do sólido, $\rho_{\text{sólido}}$, aplicando-se a Equação 9. O procedimento foi realizado em triplicata, para cada amostra.

$$V_{\text{água}} = \frac{P3 - P2 - P1}{\rho_{\text{água}}} \quad (\text{Equação 7})$$

$$V_{sólido} = V_{picnômetro} - V_{água} \quad (\text{Equação 8})$$

$$\rho_{sólido} = \frac{P_2}{V_{sólido}} \quad (\text{Equação 9})$$

4.7.5 POROSIDADE INTRAGRANULAR

A porosidade intragranular (ε) foi determinada pela razão entre a densidade absoluta das partículas (ρ_p) e a densidade aparente (ρ_a) através da Equação 10 (CAPARINO et al., 2012)

$$\varepsilon = 1 - \frac{\rho_a}{\rho_p} \quad (\text{Equação 10})$$

Onde ε corresponde a porosidade intragranular, ρ_a corresponde à densidade aparente dos sólidos do pó (kg.m^{-3}) e ρ_p à densidade absoluta (kg/m^{-3}).

4.7.6 ANÁLISE COLORIMÉTRICA

Os parâmetros de cor das amostras secas foram determinados com um espectrofotômetro de reflectância difusa MiniScan EZ (HunterLab, MSEZ-4000S, USA). O instrumento com sensor ótico geométrico de esfera, utilizando ângulo de observação de 2° , iluminante principal D75 e escala CIELab. O eixo L^* representa a luminosidade, de 0 (preto) a 100 (branco). O parâmetro a^* expressa o eixo verde/vermelho ($-a^*/a^*$) e b^* , o eixo azul/amarelo ($-b^*/b^*$). (CIE, 1996).

4.8 ATIVIDADE ANTIOXIDANTE

4.8.1 OBTENÇÃO DOS EXTRATOS HIDROETANÓLICOS

As amostras resultantes de cada tratamento tiveram seus teores de atividade antioxidante avaliados conforme metodologia proposta por Iora *et al.* (2015). Como solução extratora, foi utilizado etanol 40% e a proporção soluto/solvente de 1:20 (m/v). A extração foi conduzida em tubos *falcon* por agitação em um homogeneizador rotativo de tubos por um período de 24 horas e o sobrenadante (extrato) centrifugado em 3000 g foi utilizado para as análises.

4.8.2 ANÁLISE DA ATIVIDADE ANTIOXIDANTE PELO MÉTODO DPPH

O método DPPH consiste na redução do radical DPPH de coloração púrpura, que, ao receber um elétron ou um radical hidrogênio, muda sua coloração de violeta para amarelo (difênil-picril-hidrazina) ficando estável e com o desaparecimento da absorção que pode ser avaliada pelo decréscimo da absorbância (ROGINSKY e LISSI, 2005).

A capacidade antioxidante dos extratos, medida por meio da sua capacidade de sequestro do radical DPPH foi determinada através da leitura das amostras contendo 2,5 mL de extrato e 1 mL da solução de DPPH (0,3mmol/L e 85% de pureza). Foi utilizado como controle, uma solução contendo 2,5 mL de solução extratora (etanol 40%) e como branco uma solução com 2,5 mL de extrato e 1mL de solvente utilizado para o preparo do DPPH (metanol).

Após o preparo das amostras, as mesmas foram deixadas sobre a ausência da luz, armazenadas por 30 minutos. Passado o tempo da reação, foi determinada a absorbância em espectrofotômetro a 518 nm, a qual foi convertida em porcentagem da atividade antioxidante (% AA) utilizando a Equação 11.

$$AA\% = 100 - \left[\frac{(Abs_{amostra} - Abs_{branco}) \times 100}{Abs_{controle}} \right] \quad (\text{Equação 11})$$

Onde: $Abs_{amostra}$ é a absorbância da amostra, Abs_{branco} é a absorbância do controle em branco e $Abs_{controle}$ é a absorbância do controle negativo.

4.9 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Além da verificação dos parâmetros de ajuste dos modelos matemáticos, as demais análises realizadas em triplicata, tiveram os resultados submetidos à análise de variância (ANÓVA) ao nível de 5% de significância, utilizando-se o programa computacional STATISTICA 7.0

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 CINÉTICA DE SECAGEM

Na Figura 3 são apresentadas as 9 curvas de secagem do EAG, com a forma de adimensional da razão de umidade (MR) em função do tempo. Como pode-se observar, a principal característica de diferenciação entre as curvas é a influência da temperatura e da espessura da camada de espuma no tempo de secagem. Para temperaturas mais elevadas (80 °C), com menor espessura da camada de espuma (0,5 cm), como nos experimentos 1 e 2, foi verificada uma secagem mais rápida. Já para temperaturas inferiores (60 °C) e espessuras maiores da camada de espuma (1,5 cm), como nos experimentos 7 e 3, o tempo de secagem aumentou consideravelmente, não tornando viável o procedimento. Acredita-se que, para estes últimos casos, possa ter havido uma desestabilização da espuma formada, voltando ao estado líquido, e assim resultando em uma superfície de contato menor.

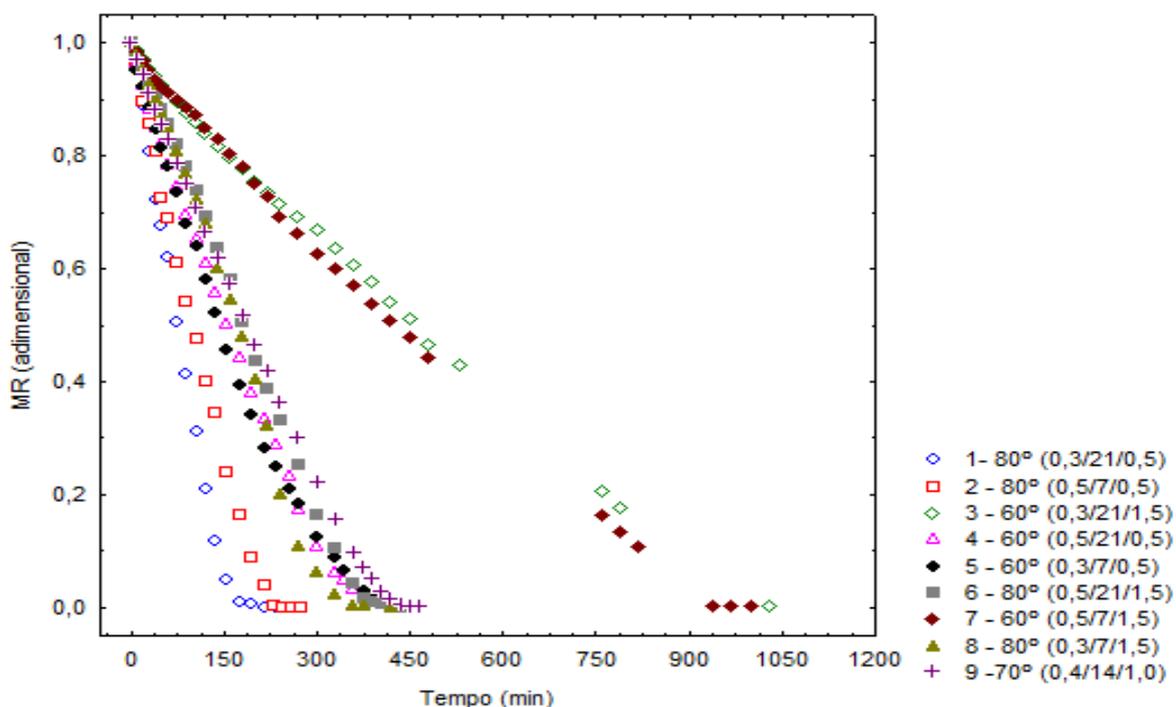


Figura 3. Cinética de secagem pelo método de camada de espuma do EAG para 9 condições experimentais.

NOTA: As variáveis entre parênteses na legenda representam a razão gengibre/água (g/L), tempo de batimento da espuma (min) e espessura da camada de espuma (cm), respectivamente.

Quando foram combinadas as condições de temperatura superior (80 °C) com maior espessura da camada de espuma (1,5 cm), como nos experimentos 8 e 6, e temperatura inferior (60 °C) com espessura menor (0,5 cm), como no experimento 4 e 5, notou-se um equilíbrio de compensação, vindo a apresentar comportamento similar ao longo da secagem. No ponto central, trabalhou-se com a temperatura de 70 °C e espessura de camada de espuma de 1,0 cm. Para tal condição, foi representado no gráfico da Figura 3 apenas o experimento 9, já que as demais repetições apresentaram o mesmo comportamento, sobrepondo-se.

Em geral, a secagem de materiais na forma de espuma é mais rápida, quando comparada com aqueles em que não se realiza o processo de formação de espuma. O efeito da temperatura na secagem foi observado, visto que a maior temperatura contribuiu para o menor tempo de secagem. Silva et al. (2008), verificaram também, através curvas de secagem em camada de espuma da polpa de tamarindo, que um acréscimo na temperatura favoreceu a diminuição do tempo de secagem.

Concordantes com essa observação, encontram-se os estudos realizados por Melo et al. (2013), que estudaram a secagem em leito de espuma da polpa do mandacaru em diferentes temperaturas. Esse comportamento também foi elucidado por Thuwapanichayanan et al. (2008) para secagem de polpa da banana pelo método de leito de espuma, verificando que a medida que aumentou a temperatura de secagem, houve uma redução no tempo do processo. Esse fenômeno é explicado pelo aumento da taxa de secagem (AKPINAR et al., 2003). Isso ocorre devido ao aumento do potencial de transferência de calor entre o ar e a camada do produto (FERREIRA et al., 2012).

O estudo da cinética de secagem tem como objetivo o conhecimento do comportamento do material estudado ao longo do processo e a predição do tempo de secagem. A modelagem do processo é de suma importância no desenvolvimento e na otimização dos secadores, além disso, possibilita a padronização do processo, tendo como consequência uma produção economicamente viável no final do processo de secagem (COSTA et al., 2011).

No anexo 1 estão apresentados os dados dos ajustes e os parâmetros estatísticos dos modelos de Henderson & Pabis, Page e Newton ajustados aos dados experimentais da secagem da espuma do EAG em 11 diferentes combinações de variáveis (temperatura, razão gengibre/água, tempo de agitação e

espessura) distintas, além dos coeficientes de determinação (R^2), e erros médios relativos (P) para cada uma delas.

Todos os modelos selecionados mostraram bom ajuste aos dados experimentais, porém o modelo que apresentou maiores valores de R^2 (entre 97,29 a 99,57) e com menores P (entre 1,47 a 7,42%) foi o modelo de Page, cujos parâmetros podem ser observados na Tabela 4.

Tabela 4 – Parâmetros calculados, R^2 e P (%) para ajuste dos dados de secagem do EAG com o modelo matemático de Page.

Experimentos	MR = exp(-ct ⁿ)			
	C	n	R ²	P (%)
1	0,00074	1,60	99,36	1,49
2	0,00076	1,50	99,07	2,27
3	0,00036	1,24	97,29	7,42
4	0,00068	1,40	99,02	3,47
5	0,00090	1,35	99,57	1,47
6	0,00028	1,52	98,79	4,14
7	0,00030	1,30	98,36	5,11
8	0,00029	1,55	98,16	5,47
9	0,00037	1,47	98,81	4,10
10	0,00045	1,45	98,05	6,42
11	0,00042	1,43	98,63	4,76

Este modelo apresentou o melhor ajuste aos dados experimentais em todas as combinações de variações estudadas e o comportamento pode ser justificado pelo maior número de parâmetros da equação e à incorporação do parâmetro n na forma exponencial.

Furtado et al. (2010) também encontraram para o modelo de Page $R^2 > 99\%$, ao estudarem a secagem em camada de espuma da polpa de seriguela, nas temperaturas de 60, 70 e 80 °C. Segundo Coelho et al. (2010), para a secagem de mamão pelo método da camada de espuma o modelo matemático de Page foi o que melhor descreveu o comportamento da secagem, tendo um coeficiente de difusão diretamente proporcional à temperatura.

5.3 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA DO EAG

A matriz dos ensaios realizados com os valores reais das variáveis estudadas e as respostas analisadas estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Análises para a caracterização física e química do EAG.

Ensaio	X ₁ ^a	X ₂ ^b	X ₃ ^c	X ₄ ^d	Y ₁ ^e	Y ₂ ^f	Y ₃ ^g	Y ₄ ^h	Y ₅ ⁱ	Y ₆ ^j	Y ₇ ^k	Y ₈ ^l	Y ₉ ^m
1	80	0,3	21	0,5	1,4	0,70	66,9	71,1	5,2	26,5	0,49	3,6	6,4
2	80	0,5	7	0,5	1,5	0,69	72,0	71,7	4,7	28,1	0,53	3,0	6,7
3	60	0,3	21	1,5	1,2	0,65	71,0	73,8	4,3	29,3	0,48	4,4	6,8
4	60	0,5	21	0,5	1,3	0,76	69,2	75,7	3,3	23,4	0,41	6,7	10,1
5	60	0,3	7	0,5	1,4	0,73	74,1	73,4	3,7	26,7	0,47	4,6	8,2
6	80	0,5	21	1,5	1,6	0,77	79,2	76,2	3,4	25,9	0,53	3,3	6,8
7	60	0,5	7	1,5	1,6	0,74	69,0	74,6	4,5	28,9	0,53	3,0	8,0
8	80	0,3	7	1,5	1,2	0,78	69,5	72,9	5,2	26,3	0,35	1,5	6,3
9	70	0,4	14	1	1,5	0,82	68,7	77,1	2,9	24,8	0,46	2,4	7,2
10	70	0,4	14	1	1,4	0,80	65,1	77,3	2,3	23,8	0,43	3,2	6,4
11	70	0,4	14	1	1,3	0,73	70,9	70,9	5,0	27,4	0,45	2,3	7,2

NOTA: ^aTemperatura (°C); ^bRazão gengibre/água (g/mL); ^cTempo de agitação (min); ^dEspessura (Cm); ^eDensidade absoluta (kg/m³); ^fDensidade aparente (kg/m³); ^gAtividade antioxidante (%); ^hColometria L*; ⁱColometria a*; ^jColometria b*; ^kPorosidade; ^lSolubilidade (%); ^mUmidade (%).

Apesar da densidade absoluta e da densidade aparente não terem sido influenciadas significativamente pelas condições estudadas, foi verificada maior densidade absoluta do extrato em pó para o experimento conduzido a 80 °C, 0,5 g/mL de razão gengibre/água, 21 minutos de agitação da espuma e espessura da camada de 0,5 cm. Já para a densidade aparente, verificou-se que maiores valores foram atingidos nas condições intermediárias, quando o extrato foi preparado com 0,4 g/mL de razão gengibre/água, 14 min de agitação, 1 cm de espessura do leito de espuma e 70 °C de temperatura de secagem. Não foi verificada uma correlação que explicasse a relação entre as densidades calculadas e a porosidade do EAG, apesar de serem fatores dependentes entre si. Partículas com maior porosidade (0,531) foram obtidas para condições de 60 °C de temperatura, 0,5 g/mL de razão gengibre/água, 7 min de batimento e 1,5 cm de espessura do leito de secagem.

Os valores de atividade antioxidante do EAG variaram de 65,13% (70 °C, 0,4 g/mL de razão gengibre/água, 14 min de batimento e 1 cm de camada de espuma)

até 79,25% (80 °C, 0,5 g/mL de razão gengibre/água, 21 min de batimento e 1,5 cm de camada de espuma). Apesar das respostas não terem sofrido influência significativa dos fatores testados, verificaram-se altos teores de atividade antioxidante para o EAG obtido. Não foram encontrados estudos similares para comparação, no entanto, Jitoe et al. (1992) confirmam a presença de atividade antioxidante em extratos de gengibre.

Com relação aos parâmetros colorimétricos, apesar de nenhum deles (L^* , a^* ou b^*) terem sido influenciados significativamente pelos tratamentos, foi verificado que em menores temperaturas (próximas a 60 °C) e maiores razões gengibre/água (0,5 g/mL), foram obtidos extratos mais claros, ou seja, maiores valores de L^* . Menores valores de a^* , relacionados à tendência à cor verde visualmente perceptível no extrato de gengibre, foram observados em tratamentos onde utilizou-se maior razão gengibre/água (em torno de 0,5 g/mL) e temperaturas de secagem mais brandas, próximas a 60 °C.

A característica da cor amarela, representada por valores positivos de b^* , foi observada para menores temperaturas de secagem, próximas a 60 °C e em extratos preparados com a menor razão gengibre/água (g/mL).

Pode-se observar através da Figura 4 que o pó de gengibre possui uma maior solubilidade (em média 5,5% de solubilidade) quando secos em bandejas de espessuras menores (0,5 cm) e em temperaturas inferiores (60 °C). Isso pode-se ser explicado pelo fato de bandejas com espessuras maiores e submetidas à temperaturas mais elevadas podem acarretar na desestabilização da espuma, ocasionando secagens mais longas e fazendo com que haja perda do ar incorporado e o a espuma volte a se tornar líquido novamente. O gengibre ainda apresenta em sua composição uma oleoresina, composta por 1% a 4% de óleo essencial (ZANCAN et al., 2002), o que também pode interferir, ocasionando níveis baixos na solubilidade do pó de gengibre obtido.

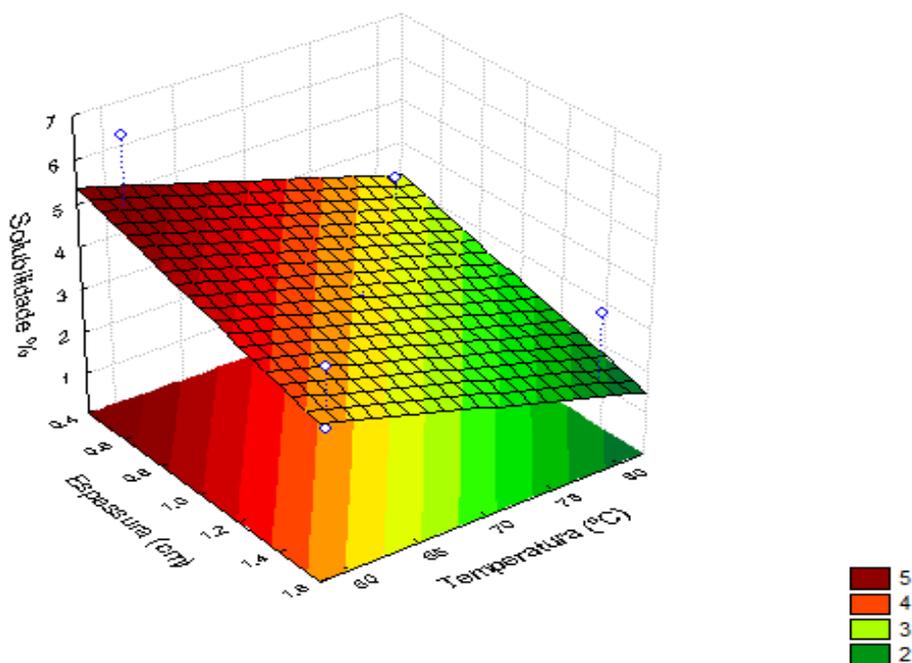


Figura 4. Superfície de resposta para a solubilidade (%) do pó de gengibre obtido pela secagem em leito de espuma em função da temperatura de secagem (°C) e da espessura da bandeja (cm).

Verificou-se através da análise de variância, que a variável temperatura de secagem apresentou efeitos significativos ($p \leq 0,05$) sobre a solubilidade do pó de gengibre. O efeito negativo da temperatura (Figura 4), indica que o maior percentual de solubilidade é obtido através da menor temperatura dentro da faixa estudada (60 a 80 °C). A espessura da camada de espuma, apesar dos resultados não serem considerados estatisticamente significativos ao nível de significância avaliado, teve importância, podendo ter uma significância maior caso fosse trabalhado em uma faixa maior de variação, assim como o tempo de agitação na formação da espuma.

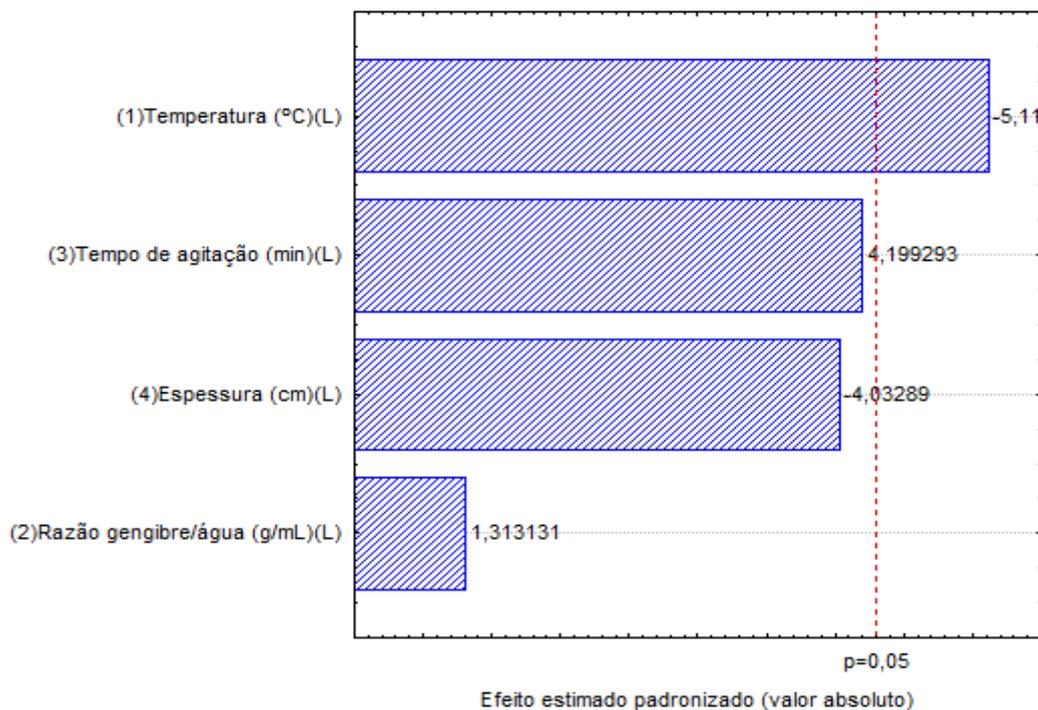


Figura 5. Efeito das variáveis estudadas sobre a solubilidade do pó de gengibre obtido através da secagem em leito de espuma.

Foram verificados maiores teores de umidade (em torno de 9%) quando a secagem foi realizada em maior razão de gengibre/água (g/mL), na faixa de 0,3 à 0,5, e em temperatura inferiores dentro da faixa de 60 a 80 °C (Figura 4). Tal fato pode-se explicar pelo fato da espuma possuir maior teor de sólidos presentes na solução contendo mais gengibre, sendo assim, a água adsorvida pode possuir maior dificuldade de se difundir e ser removida. Já a água pura possui maior facilidade em ser evaporada, ocasionando produtos com menores teores de umidade. Como o gengibre ainda apresenta em sua composição quantidades consideráveis de amido e fibras (5,4 a 16,2 %) (TAVEIRA MAGALHÃES *et al.*, 1997), pode ainda ter acontecido o fenômeno da gelatinização, o qual ocorre quando o amido é colocado em água, juntamente com o aquecimento, iniciando o rompimento das ligações químicas que mantém sua estrutura física e eles passam a absorver mais água e inchar, dificultando assim a evaporação da água (VIEIRA, 2004).

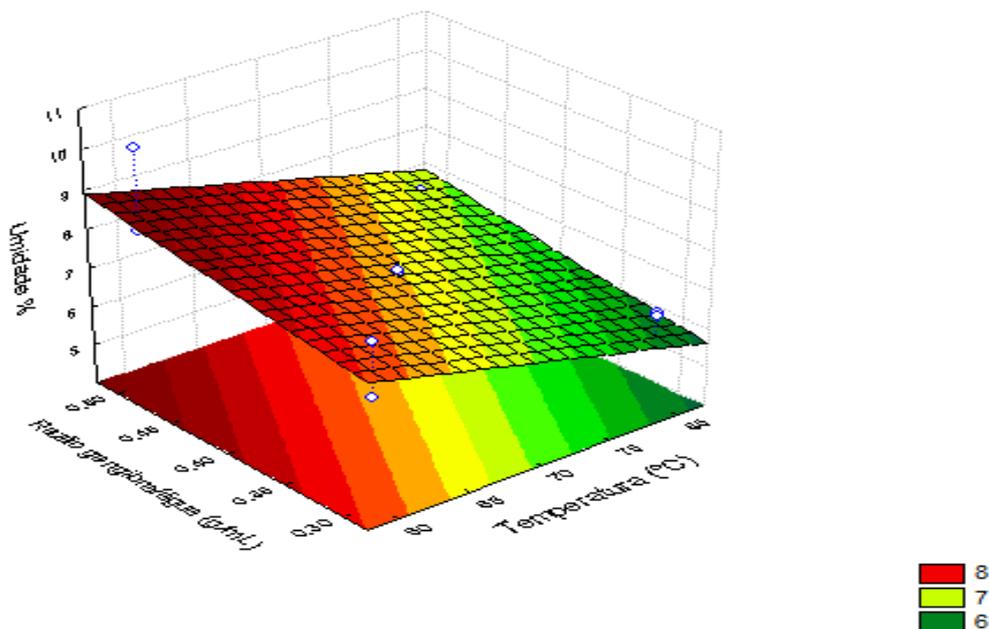


Figura 6. Superfície de resposta para a umidade (%) do pó de gengibre obtido pela secagem em leito de espuma em função da temperatura de secagem (°C) e da razão de gengibre/água (g/mL).

Em pesquisa realizada por Soares *et al.* (2001), foi elaborado um suplemento alimentar em pó, a partir da desidratação da polpa de acerola utilizando o método de secagem em leito de espuma tendo se obtido um pó com 7,2% de umidade, próxima da faixa encontrada no presente trabalho, onde a umidade do pó de gengibre variou de 6 a 10%.

Uma camada de espuma seca muito mais rapidamente do que a mesma quantidade de líquido sob as mesmas condições de secagem, isto porque o líquido move-se mais facilmente em uma estrutura espumosa do que em uma densa camada do mesmo material. Isso é devido também pela evaporação dentro das bolhas seguida por difusão gasosa através das paredes finas da espuma (KARIM; WAI, 1999). Temperaturas inferiores, podem ocasionar uma taxa de secagem mais lenta, levando a desestabilização da espuma, voltando ao estado líquido e assim ocasionando uma maior dificuldade na perda de umidade.

Verificou-se através da análise de variância, que a variável temperatura de secagem apresentou efeitos significativos ($p \leq 0,05$) sobre a umidade do pó de gengibre. A temperatura apresentou efeito negativo (Figura 7), indicando que o maior percentual de umidade é obtida através da menor temperatura dentro da faixa estudada (60 a 80 °C). Verifica-se que a razão gengibre/água, apesar de não ser

considerada estatisticamente significativa ao nível de significância avaliado, poderia se mostrar significante caso fosse trabalhada com uma faixa maior de variação.

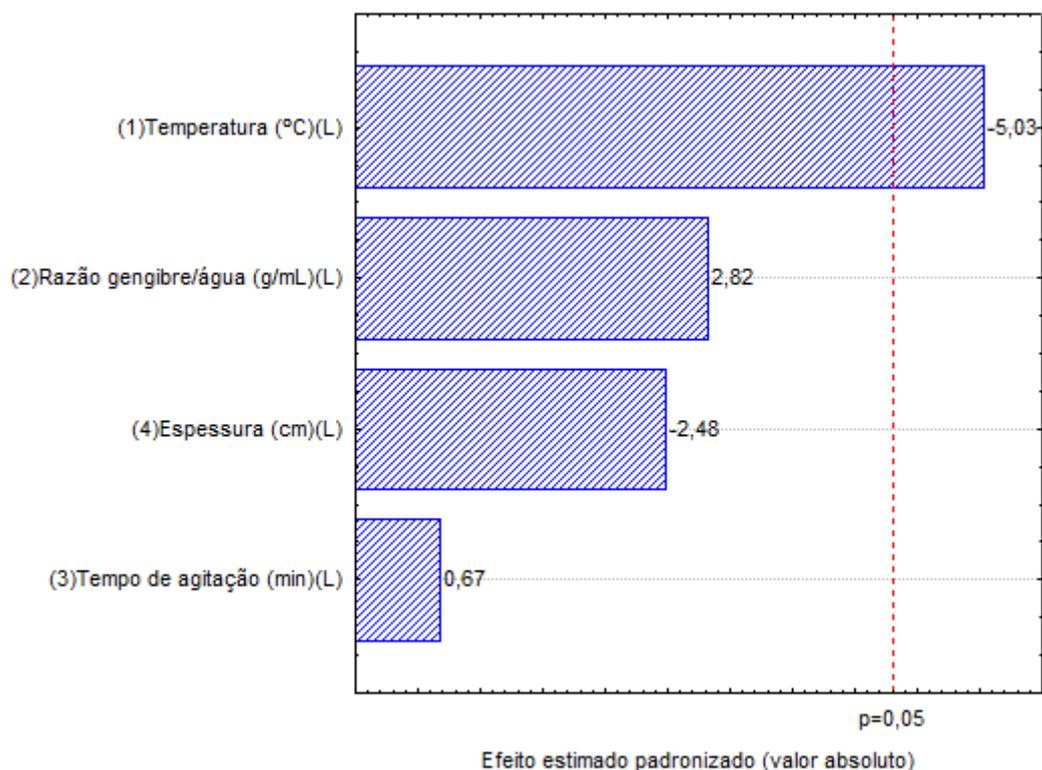


Figura 7. Efeito das variáveis estudadas sobre a umidade do pó de gengibre obtido através da secagem em leito de espuma.

CONCLUSÃO

Foi possível aplicar o método de secagem em espuma para se obter extrato de gengibre, bem como avaliar o efeito das variáveis estudadas no produto.

Através de testes preliminares, foi escolhida uma combinação de Emustab® e albumina, capaz de manter a estabilidade necessária para secagem da espuma.

Com relação à cinética de secagem do EAG, verificou-se que o processo aconteceu mais rapidamente na condição de temperatura mais alta testada (80 °C) e em leitos de espuma mais finos (0,5 cm). Nas condições mais brandas (60 °C e 1,5 cm de espessura da camada de espuma), o equilíbrio foi atingido em tempo cerca de cinco vezes maior. Ainda com relação ao processo de secagem, o modelo de Page foi o que apresentou melhor ajuste aos dados experimentais.

A caracterização física e química do EAG mostrou que diferentes tratamentos obtiveram diferentes pontos positivos dependendo da aplicação para que o pó de gengibre for destinado.

De forma geral, foi possível a obtenção do EAG pelo método de camada de espuma, sendo que tal tecnologia resulta em processos mais rápidos e preservação das características originais da matéria prima. Do ponto de vista de processamento e utilização do material em alimentos, foram conseguidos resultados mais adequados nas condições mais brandas de temperatura e menor espessura da camada de espuma.

6. REFERÊNCIAS

AGUIRRE, J. M.; FILHO, J. G. Desidratação de frutas e hortaliças. **ITAL -Instituto de Tecnologia de Alimentos. Manual técnico**. Campinas,1999. pág. 28–32.

AKPINAR, E. K; BICER, Y.; YILDIZ, C. Thin layer drying of red pepper. *Journal of Food Engineering*, v.59, p.99-104, 2003.

AREVALO-PINEDO, A.; MURR, F. E. X.; Influência da Pressão, Temperatura e Pré-tratamentos na Secagem a Vácuo de Cenoura e Abóbora. **Ciên. Tecnol. Alim.** Campinas, v..25, n. 4, p. 636-643, 2005.

ARÉVALO-PINEDO, A.; MURR, F. E. X. *Kinetics of vacuum drying of pumpkin (Cucurbita maxima): Modeling with shrinkage*. **Journal of Food Engineering**, 76, 562–567, 2006.

BARRETO, I. M. A.; Caracterização de polpa de pitanga roxa (*Eugenia uniflora*) desidratada em leito de espuma. **Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos)** – Universidade do Sudoeste da Bahia – UESB, Itapetinga, 2010.

BEAL, B.H. **Atividade antioxidante e identificação dos ácidos fenólicos do gengibre (*Zingiber officinale Roscoe*)** 2006. 87 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, 2006.

BOEIRA, J.B. *et al.* **Estudo da Desidratação de Pêssegos por tratamento Osmótico e Secagem**. Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos, v.25, n.1, p. 77-90, 2007.

BROOKS, B. W.; RICHMOND, H. N.; ZERFA, M. *Phase inversion and drop formation in agitated liquid – liquid dispersions in the presence of nonionic surfactants*. In: *BINKS, B. P. Modern Aspects of Emulsion Science*. Cambridge: **The Royal Society of Chemistry** (Ed.), 1998. p. 175-203.

CARNEIRO, D. D. Desidratação de alimentos por Foam-Mar Drying. **Seminário: Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos**. Universidade Rural do Rio de Janeiro. Seropédica – RJ, 2008.

CARVALHO, M. S. Produção de polpa de abóbora em pó pelo processo de secagem em leito de espuma. **Dissertação**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. Universidade Federal de Viçosa, 2014.

CANO-CHAUCA, M.; STRINGHETA, P.C.; RAMOS, A. M.; CAL-VIDAL, C. Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. **Innov. Food Sci. Emerg. Technol.** n. 6, p. 420–428, 2005.

CASAGRANDE, A. Desidratação: Frutas e Vegetais. **Empresa Paranaense de assistência Técnica e extensão Rural (EMATER)**. Curitiba/ PR, 2001. Pág.19 – 23.

CIE. **CIE Publications**. 15.2.CIE, Viena, Áustria, 1996.

COELHO, W. L. V.; SANTOS, P.; FURTADO, G. F.; SILVA, F. S. Secagem de Polpa de Mamão Pelo Método de Camada de Espuma. In: **3ª Jornada Científica da UNEMAT - VI Congresso de Iniciação Científica da UNEMAT**, 2010, Caceres- MT. Anais 3ª Jornada Científica da UNEMAT, 2010.

CORREA JUNIOR, C. **Cultivo de plantas medicinais, condimentares e aromáticas**. 2 ed. Jaboticabal: FUNEP, 1994.162 p.

COSTA, L. M.; RESENDE, O.; SOUSA, K. A.; GONÇALVES, D. N. Coeficiente de difusão efetivo e modelagem matemática da secagem de sementes de crambe. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v.15, n.10, p.1089–1096, 2011.

DEBIASI, C.; FELTRIN, F.; MICHELUZZI, F. C. Micropropagação de gengibre (*Zingiber officinale*). **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 10, n. 1, p. 61-65, 2004.

DE ALMEIDA, N. G; ELPO, E. R. S.; GIROTTO, A. Aspectos econômicos da cultura do gengibre. Curitiba: **Secretaria de Estado de Agricultura e do Abastecimento**, Departamento de Economia Rural, p.9, 2007.

ELPO, E. R. S. Cadeia produtiva do gengibre (*Zingiber officinale* Roscae) no estado do Paraná: Análise e recomendações para melhoria da qualidade. **Tese** (Doutor em Ciências) – Departamento de Fitotecnia e Fitossanitarismo, UFPR, Curitiba, 2004.

ELPO, E. R. S.; NEGRELLE, R. R. B. **Zingiber officinale Roscoe: Aspectos botânicos e ecológicos**. Visão Acadêmica, Curitiba, v. 5, n. 1, p. 27-32, Jan.- Ju, 2004.

ELPO, E.R.S.; NEGRELLE, R.R.B.; GOMES, E.C. Avaliação da qualidade microbiológica do gengibre “in natura” comercializado na região metropolitana de Curitiba, PR. **Visão Acadêmica**, v. 5, n. 2, p. 139 -146, 2004.

EASTMAN, J. E.; MOORE, C. O. Cold Water Soluble Granular Starch for Gelled Food Composition. **U.S. Patent 4465702**, 14 ago. 1984.

FERNANDES, R. V. B.; QUEIROZ, F.; BOTREL, D. A.; ROCHA, V. V.; LIMA, C. F.; SOUZA, V. R. Secagem de polpa de tomate pelo método de camada de espuma. Universidade Federal de Uberlândia. **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 29, n. 4, p. 816-825. 2013.

FERREIRA, L. F. D.; PIROZI, M. R.; RAMOS, A. M.; PEREIRA, J. A. M. Modelagem matemática da secagem em camada delgada de bagaço de uva fermentado. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.47, n.6, p.855-862, jun. 2012.

FERRI, M. G; MENEZES, N. L. MONTERO-SCANAVACCA, W. R. **Glossário ilustrado de botânica**. São Paulo: Nobel, 1981. 179 p.

FRANCISCO, J. L.; FRANCISCO, R. **Dossiê técnico: fabrica de produtos à base de gengibre**. Rio de Janeiro: Rede de tecnologia do Rio de Janeiro; 2007.

FURTADO, G. F.; SILVA, F. S.; PORTO, A. G.; SANTOS, P. Secagem de polpa de ceriguela pelo método de camada de espuma. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.12, n.1, p.9-14, 2010.

GEANKOPLIS, C. J. **Transport Processes and Unit Operations**. 3. ed. Boston: Prentice Hall, p. 754-794, 1993.

GOUINGUENÉ, S. P.; TURLINGS, T. C. J. The effects of abiotic factors on induced volatile emissions in corn plants. **Plant Physiology**, 129, 1296-1307, 2002.

GOULA, A. M., ADAMAPOULOS, K. G. Effect of maltodextrin addition during spray drying of tomato pulp in dehumidified air: II. Powder Properties. *Drying Journal*, v.26, p.726-737, 2008.

GOUVEIA, J.P.G. et al. Determinação das Curvas de secagem em frutos de cajá. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, Especial, n1, p. 65-68, 2003

GUINÉA, R. P. F.; PINHO, S.; BARROCA, M. J. Study of the convective drying of pumpkin (*Cucurbita maxima*). **Food and bioproducts processing**, 89, 422–428, 2011.

GURJÃO, K. C. V. Desenvolvimento, armazenamento e secagem de amarindo. Areia: UFPA.165 p. (**Tese de Doutorado em Agronomia**), 2006.

IORA, S. R. F.; MACIEL, G. M.; ZIELINSKI, A. A. F.; SILVA, M. V.; PONTES, P. V. A. HAMINIUK, C. W. I.; GRANATO, D. Evaluation of the bioactive compounds and the antioxidant capacity of grape pomace. **International Journal of Food Science & Technology (Print)**, v. 50, p. 62-69, 2015.

JITOE, A.; MASUDA, T.; TENGAH, I.G.P.; SUPRAPTA, D.N.; GARA, I.W.; NAKATANI, N. **Antioxidant activity of tropical ginger extract and analysis of the contained curcuminoids**. *Agric Food Chem.* 1992; 40:1337-40.

KADAM, D. M.; BALASUBRAMANIAN. S. Foam mat drying of tomato juice. **Journal of Food Processing and Preservation**, 2010.

KADAM, D. M.; WILSON, R. A.; KAUR, V.; CHADHA, S.; KAUSHIK, P.; KAUR, S.; PATIL, R. T.; RAI, D. R. Physicochemical and microbial quality evaluation of foam-mat-dried pineapple powder. **International Journal of Food Science and Technology**, 47, 1654–1659, 2012.

KARIM, A. A.; CHEE-WAI, C. Characteristic of foam prepared from starfruit (*L.*) puree by using methylcellulose. **Food Hydrocolloids**, v. 13, n. 2, p. 203- 210, 1999.

LEWICKI, P. P. Data and Model of Water Activity. II: Solid Foods. In: RAHMAN, M. S. (Ed.) **Food Properties Handbook**, p. 73-141, CRC Press: Boca Raton, 2008.

LISBÔA, C. G. C. de. FIGUEIRÊDO, R. M. F. de; QUEIROZ, A. J. de M. Armazenamento de figo-da-índia em pó. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.2, p.216–221, 2012.

MAGALHÃES, M.T.; KOKETSU, M.; GONÇALVES, S. L.; DUARTE, F.R.; GODOY, R. L. O.; LOPES, D. Gengibre (*Zingiber Officinale* Roscoe) brasileiro: aspectos gerais, óleo essencial e oleoresina. Parte 1. Aspectos gerais, óleo essencial. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.17, n.1, p.64-69, 1997.

MARINOVA, K. G., BASHEVA, E. S., NENOVA, B., TEMELSKA, M., MIRAREFI, A. Y., CAMPBELL, B., IVANOV, I. B. Physico-chemical factors controlling the

foamability and foam stability of milk proteins: Sodium caseinate and whey protein concentrates. **Food Hydrocolloids**, v.23, p.1864-1876, 2009.

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

MATOS, F. J. A. (Org.) **Constituintes químicos ativos e propriedades biológicas de plantas medicinais brasileiras**. 2. ed. Fortaleza: Ed. Universidade Federal do Ceará, 2004. 448 p.

MCKENNA, D.; JONES, K.; HUGHES, K.; **Botanical Medicines: The Desk Reference for Major Herbal Supplements**. 2 nd Ed. New York: Haworth Herbal Press; 2002.

MELO, E. A.; GUERRA, N. B. Ação antioxidante de compostos fenólicos naturalmente presentes em alimentos. **Bol SBCTA**; 36:1-11, 2002.

MELO, K. S.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; FERNANDES, T. K. S.; BEZERRA, M. C. T. Secagem em camada de espuma da polpa do fruto do mandacaru: experimentação e ajustes de modelos matemáticos. **Revista Caatinga (Online)**, v. 6, p. 10-17, 2013.

MENDES, M. O. Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas – **Resposta Técnica: O cultivo de gengibre** – 2005. Disponível em: <<http://www.sbrt.ibict.b>>. Acesso 14 de maio de 2016.

NEGRELLE, R. R. B.; ELPO, E. R. S.; RÜCKER, N. G. A. Análise prospectiva do agronegócio gengibre no estado do Paraná. **Horticultura Brasileira**, v. 23, n. 4, p. 1022-1028, 2005.

PARANÁ. Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento do Paraná. Departamento de Economia Rural. **Dados referentes à área, produção e valor bruto da produção de gengibre no Estado do Paraná**. Curitiba, 2007.

PARK, K. J. B.; ANTONIO, G. C.; OLIVEIRA, R. A. **Conceitos de processo e equipamentos de secagem**. Apostila. Campinas-SP, Março de 2007.

PINTO, E. G. Caracterização da espuma de jenipapo (*Genipa americana* L.) com diferentes aditivos visando à secagem em leite de espuma. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB). Itapetinga. (**Dissertação de Mestrado em Engenharia de Alimentos**), 2009.

PRATO, T. S. Influência da secagem sobre compostos medicinais e de pungência do gengibre. Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas. **Dissertação de Mestrado**. São José do Rio Preto, 2010.

RAHARITSIFA, N., GENOVESE, D. B., RATTI, C. Characterization of apple juice foams for foam-mat drying prepared with egg white protein and methylcellulose. *J. Food Sci.* 71 (3), E142–E151, 2006.

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**, 79, 1452–1459, 2007.

REIS, F. R. Secagem a vácuo de yacon: influência das condições de processo sobre os parâmetros de qualidade e cinética de secagem. **Tese** (Doutorado em Engenharia de Alimentos), Curitiba, PR, 2011.

RICE-EVANS, C. A., MILLER, N. J.; PAGANGA, G. Antioxidant properties of phenolic compounds. **Trends in plant science**, v. 2 (4), p. 152-159, 1997.

ROGINSKY, V. e LISSI, E. A. **Review of methods to determine chain-breaking antioxidant activity in food**. *Food Chemistry*, v. 92, p. 235-254, 2005

SAGAR V. R.; KUMAR, S. P. Recent advances in drying and dehydration of fruits and vegetables: a review. **Journal Food Science and Technology**, n.47, v.1, p.15–26, 2010.

SANKAT, C. K.; CASTAIGNE, F. Formação de espuma e na secagem de bananas maduras. **Lebensmittel Wissenschaft und Technologie**. London, v. 37, n. 1, p. 217-525, 2004.

SCHULLER, R.; ROMANOWSKY, P. Understanding emulsions. **Cosmetic & Toiletries**, New York, v. 113, n. 09, p. 39-44, 1998.

SEGURA, E., MONROY, L.A. MANRIQUE, G. Aplicación de la Tecnología de Deshidratación por el Método de Secado de Espumas (Foam-Mat) en Jugos de Frutas Tropicales II (Naranja, Piña, Mora y Maracuyá). **Revista colombiana de ciências químico farmacêuticas**, n.18, p.47-52, 1990.

SILVA, A. S.; GURJÃO, K. C. O.; ALMEIDA, F. A. C.; BRUNO, R. L. A.; PEREIRA, W. E. Desidratação da Polpa de Tamarindo pelo Método de Camada de Espuma. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 6, p. 1899-1905, 2008.

SILVA, P. P. M. Conservação de polpa de juçara (*Euterpe Edulis*) submetida à radiação gama, pasteurização, liofilização e atomização. **Dissertação de doutorado da Universidade de São Paulo**. Piracicaba, 2013.

SIMÕES, C. M. O.; SPITZER, V. Óleos voláteis. In: SIMÕES, C.M.O et al. **Farmacognosia: da planta ao medicamento**. 5. ed. Porto Alegre / Florianópolis: Editora UFRGS/ Editora UFSC, 467-495, 2003.

SOARES, E. C.; OLIVEIRA, G. S. F.; MAIA, G. A.; MONTEIRO, J. C. S.; Silva, A. Jr.; FILHO, M. S. S. Desidratação da polpa de acerola (*Malpighia emarginata* D.C.) pelo processo "Foam-mat". **Rev. Ciência Tecnologia de Alimentos**, Campinas, SP, v. 21(2), p.164-170, maio-ago, 2001.

SOUZA, V. C. Efeito da liofilização e desidratação em leite de espuma sobre a qualidade do pó de polpa de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*). **Dissertação** (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal da Bahia, Utapitinga, 2011.

TAVEIRA MAGALHÃES, M.; KOKETSU, M.; GONÇALVES, S. L.; DUARTE, F. R.; CORNEJO, F. E. P.; MARQUES, L. M. R. Gengibre (*Zingiber officinale* Roscoe) Brasileiro: Aspectos Gerais, Óleo Essencial e Oleoresina. Parte 2 – Secagem, Óleo Essencial e Oleoresina. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.17, n.1, p.132-136, 1997.

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

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

TRAVAGLINI, D. A.; AGUIRRE, J. M.; SIQUEIRA, E. T. F. **Desidratação de frutas**. Campinas: CETEA/ITAL, 40 p. 2001.

VIEIRA, F. C. Efeito do tratamento com calor e baixa umidade sobre características físicas e funcionais dos amidos de mandioca-salsa (*arracacia xanthorrhiza*), de batata-doce (*ipomoea batatas*) e de gengibre (*zingiberoffixinale*). 2004. 122 p.

Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

WEIJERS M.; SAGIS L. M. C.; VEERMAN C.; SPERBER, B.; VAN DER LINDEN, E. Rheology and structure of ovalbumin gels at low pH and low ionic strength. **Food Hydrocolloids**. n. 16, v.3, p. 269-276, 2002.

WILSON, R. A.; KADAM, D. M.; CHADHA, S.; SHARMA, M. Foam mat drying characteristics of mango pulp. **International Journal of Food Science and Nutrition Engineering**, v.2, n.4, p.63-69, 2012.

ZANCAN, K. C.; MARQUES, M. O. M.; PETENATE, A. J.; MEIRELES, M. A. A.; **Supercrit Fluids**, 2002.

ZICK, S. M.; RUFFIN, M. T.; LEE, J.; NORMOLLE, D. P.; SIDEN, R.; ALRAWI, S.; et al. Phase II trial of encapsulated ginger as a treatment for chemotherapy-induced nausea and vomiting. **Support Care Cancer**. V.17, n.5, p.563-72, 2009.

Anexo 1 – Parâmetros calculados, R^2 e P (%) para ajuste dos dados de secagem do EAG com modelos matemáticos previamente selecionados selecionados a diferentes temperaturas

		1		
MODELO	PARÂMETRO	R^2	P (%)	
Henderson-Pabis	$a = 1,117902$	0,9589	9,63	
	$b = 0,012667$			
	$c = 0,000741$			
	$n = 1,598285$			
Page	$d = 0,011288$	99,36	1,49	
Newton		94,33	13,29	
		2		
MODELO	PARÂMETRO	R^2	P (%)	
Henderson-Pabis	$a = 1,105806$	95,83	10,27	
	$b = 0,009569$			
	$c = 0,000760$			
	$n = 1,502980$			
Page	$d = 0,008587$	99,07	2,27	
Newton		94,39	13,84	
		3		
MODELO	PARÂMETRO	R^2	P (%)	
Henderson-Pabis	$a = 1,042549$	95,16	13,29	
	$b = 0,001829$			
	$c = 0,000363$			
	$n = 1,247404$			
Page	$d = 0,001708$	97,29	7,42	
Newton		94,59	14,85	
		4		
MODELO	PARÂMETRO	R^2	P (%)	
Henderson-Pabis	$a = 1,086754$	96,50	12,35	
	$b = 0,006031$			
	$c = 0,000675$			
	$n = 1,397599$			
Page	$d = 0,005518$	99,02	3,47	
Newton		95,54	15,75	
		5		
MODELO	PARÂMETRO	R^2	P (%)	
Henderson-Pabis	$a = 1,082022$	97,64	8,08	
	$b = 0,006242$			
	$c = 0,000895$			
	$n = 1,354395$			
Page	$d = 0,005733$	99,57	1,47	
Newton		96,77	11,02	
		6		
MODELO	PARÂMETRO	R^2	P (%)	
Henderson-Pabis	$a = 1,124050$	94,31	19,45	

	$b = 0,005321$		
Page	$c = 0,000283$	98,79	4,14
Newton	$n = 1,524565$		
	$d = 0,004659$	92,11	26,95
7			
MODELO	PARÂMETRO	R^2	P (%)
Henderson-Pabis	$a = 1,055604$	95,72	13,35
	$b = 0,002019$		
Page	$c = 0,000300$	98,36	5,11
	$n = 1,301842$		
Newton	$d = 0,001855$	94,89	15,92
8			
MODELO	PARÂMETRO	R^2	P (%)
Henderson-Pabis	$a = 1,125414$	93,07	20,61
	$b = 0,005741$		
Page	$c = 0,000291$	98,16	5,47
	$n = 1,546633$		
Newton	$d = 0,004988$	90,67	27,73
9			
MODELO	PARÂMETRO	R^2	P (%)
Henderson-Pabis	$a = 1,093142$	95,63	15,04
	$b = 0,005103$		
Page	$c = 0,000366$	98,81	4,10
	$n = 1,469289$		
Newton	$d = 0,004617$	94,37	19,38
10			
MODELO	PARÂMETRO	R^2	P (%)
Henderson-Pabis	$a = 1,098826$	95,01	16,42
	$b = 0,005852$		
Page	$c = 0,000449$	98,05	6,42
	$n = 1,448265$		
Newton	$d = 0,005272$	93,66	20,87
11			
MODELO	PARÂMETRO	R^2	P (%)
Henderson-Pabis	$a = 1,099140$	95,36	16,20
	$b = 0,005068$		
Page	$c = 0,000422$	98,63	4,76
	$n = 1,433535$		
Newton	$d = 0,004558$	93,94	21,14