



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
CURSO DE QUÍMICA INDUSTRIAL**

TALYSSON SUERLAN BEZERRA DE SOUZA

**AVALIAÇÃO DE MODELOS MATEMÁTICOS NA CINÉTICA DE SECAGEM DE
RESÍDUOS DE ABACAXI, ACEROLA E LARANJA**

**CAMPINA GRANDE-PB
2017**

TALYSSON SUERLAN BEZERRA DE SOUZA

**AVALIAÇÃO DE MODELOS MATEMÁTICOS NA CINÉTICA DE SECAGEM DE
RESÍDUOS DE ABACAXI, ACEROLA E LARANJA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Química Industrial como requisito para obtenção do título de Bacharel em Química Industrial, pela Universidade Estadual da Paraíba.

Orientador: Prof. Dr. Marcello Maia de Almeida

**CAMPINA GRANDE-PB
2017**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

S729a Souza, Talysson Suerlan Bezerra de.
Avaliação de modelos matemáticos na cinética de secagem de resíduos de abacaxi, acerola e laranja [manuscrito] : / Talysson Suerlan Bezerra de Souza. - 2017.
30 p.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química Industrial) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2017.

"Orientação : Prof. Dr. Marcello Maia de Almeida, Coordenação do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental - CCT."

1. Resíduos orgânicos. 2. Resíduos agrícolas. 3. Reaproveitamento. 4. Secagem.

21. ed. CDD 664.028 4

TALYSSON SUERLAN BEZERRA DE SOUZA

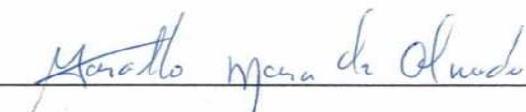
**AVALIAÇÃO DE MODELOS MATEMÁTICOS NA CINÉTICA DE SECAGEM
DE RESÍDUOS DE ABACAXI, ACEROLA E LARANJA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Química
Industrial como requisito para obtenção
do Título de Bacharel em Química
Industrial pela Universidade Estadual da
Paraíba.

Aprovado em: 20/10/2017

Nota: 10,0 (dez, zero)

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Marcello Maia de Almeida
(Orientador – DESA / UEPB)



Profa. Dra. Márcia Ramos Luiz
(Examinadora – DESA / UEPB)



Profa. Dra. Lígia Maria Ribeiro Lima
(Examinadora – DESA / UEPB)

**CAMPINA GRANDE-PB
2017**

Dedico aos meus pais por acreditarem em mim e pela dedicação e companheirismo de sempre, essa vitória é de vocês.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por me segurar forte pela mão e não me deixar desistir diante dos obstáculos enfrentados até aqui.

A minha família, meu pai João Batista de Souza e a minha irmã Tassila, por sempre me apoiarem e me acompanharem durante a caminhada. E em especial a minha mãe, Maria Suely Bezerra, por todo amor, incentivo, paciência, dedicação e por nunca ter desistido de mim.

A meu orientador, Prof. Dr. Marcello Maia de Almeida, pela excelente orientação durante todo o trabalho, mostrando-se paciente e transmitindo seus ensinamentos e experiência acerca do assunto.

Agradeço a todos os amigos e companheiros de infância, Iane, Leny, Mirtes, Thaiane e Thomás, que sempre me incentivaram e comemorarão esta vitória comigo.

Aos meus companheiros de vida, Erivaldo, Camilla, Raphael e Juliana, que também contribuíram para a conclusão deste trabalho, me ajudando de diversas formas.

Ao meu amigo Leonardo, um irmão que a graduação me deu, que compartilhou de momentos bons e ruins ao longo dessa jornada ao meu lado, tais momentos nos ajudaram a crescer pessoal e profissionalmente. Os cafezinhos e as noites de estudo jamais serão esquecidos.

Aos amigos conquistados no laboratório, Adna, Adriana e Junior, que me auxiliaram quando surgiram dúvidas e foram fundamentais para realização dos experimentos.

As professoras Márcia Ramos Luz e Lígia Maria Ribeiro Lima, por participarem da banca avaliadora e por toda contribuição nas sugestões para melhoria deste trabalho.

A Universidade Estadual da Paraíba por abrir portas através do curso e ao Departamento de Química Industrial pelo apoio.

Ao professor José Arimatéia Nóbrega, coordenador do curso de Química industrial, por sempre me apoiar e incentivar na busca de oportunidades e na concretização de sonhos.

Finalmente, a todos que direta ou indiretamente, contribuíram para que eu chegasse até o final desta caminhada.

RESUMO

O Brasil é um dos principais produtores de frutas cítricas do mundo e o maior da América do Sul por apresentar clima e solo bastante favoráveis para seu cultivo. Tais frutas são altamente perecíveis resultando em grandes perdas e geração de resíduos. As cascas das frutas são bastante nutritivas e podem ser reaproveitadas para diversos fins. A conservação pela secagem promove a remoção da água do produto evitando a proliferação de microrganismos e garantindo a estabilidade do produto. Avaliar a cinética de secagem da mistura de resíduos de abacaxi, acerola e laranja e ajustar a diferentes modelos matemáticos aos valores experimentais obtidos, foi o objetivo deste estudo. A mistura dos resíduos na mesma proporção e massa total foi submetida à secagem convectiva em estufa com circulação de ar sob as temperaturas de 50, 60, 70, 75 e 80°C, com a retirada das amostras em tempos regulares até atingir peso constante. Os dados da cinética de secagem foram ajustados aos modelos empíricos de Page, Newton e Henderson e Pabis. Os critérios estatísticos utilizados para avaliação foram o coeficiente de determinação (R^2), teste de Akaike (AIC) e o erro padrão (SE). A partir dos dados experimentais do monitoramento da perda de peso com o tempo foram construídas as curvas de secagem e as curvas da taxa de secagem em função da umidade média para determinação da umidade de equilíbrio dinâmica. Observou-se por meio das curvas da taxa de secagem um período de aquecimento no início do processo, seguido por um longo período de taxa decrescente. A umidade de equilíbrio variou entre 3,88 e 9,17. Entre os modelos propostos, o modelo de Page foi o que melhor se ajustou às curvas de secagem apresentando coeficientes de determinação (R^2) acima de 0,99, valores mais negativos para o teste de Akaike variando de -433 a -310 e menores valores de erro padrão (SE) numa faixa de 0,01 a 0,018. A partir do modelo que melhor ajustou os dados da cinética de secagem determinou-se a constante de secagem (k). Os valores encontrados para este parâmetro apresentaram efeito importante da temperatura, ou seja, quanto maior a temperatura maior a velocidade de secagem. Contudo, os ensaios a 60 e 80°C ilustraram comportamento contrário. Observou-se, também, que para temperaturas mais elevadas a secagem ocorreu mais rapidamente influenciando de forma positiva na umidade final do produto com valores menores variando de 3,88 a 9,17% (b.s). Este fato pode contribuir para melhor armazenamento do produto obtido.

PALAVRAS-CHAVE: Desperdício. Reaproveitar. Secagem.

ABSTRACT

Brazil is one of the main producers of citrus fruits in the world and the largest in South America because it has a favorable climate and soil for cultivation. Such fruits are highly perishable resulting in large losses and waste generation. Fruit peels are very nutritious and can be reused for various purposes. The conservation by drying promotes the removal of water from the product avoiding the proliferation of microorganisms and guaranteeing the stability of the product. To evaluate the drying kinetics of the mixture of pineapple, acerola and orange residues and to adjust different mathematical models to the experimental values obtained was the objective of this study. The mixture of the residues in the same proportion and total mass was submitted to convective drying in an oven with air circulation under the temperatures of 50, 60, 70, 75 and 80°C, with the removal of samples at regular times until reaching constant weight. The drying kinetics data were adjusted to the empirical models of Page, Newton and Henderson and Pabis. The statistical criteria used for evaluation were the determination coefficient (R^2), the Akaike test (AIC) and the standard error (SE). From the experimental data of the monitoring of the weight loss with the time were constructed the drying curves and the curves of the rate of drying as a function of the average humidity for determination of the humidity of dynamic equilibrium. A drying period at the beginning of the process was observed through the drying rate curves, followed by a long period of decreasing rate. The equilibrium humidity varied between the proposed models, the Page model was the one that best adjusted to the drying curves presenting coefficients of determination (R^2) above 0.99, values more negative for the Akaike test ranging from - 433 to -310 and lower standard error values (SE) in a range of 0.01 to 0.018. From the model that best fitted the drying kinetics data the drying constant (k) was determined. The values found for this parameter suffer significant temperature effect, that is, the higher the temperature the higher the drying rate. However, the tests at 60 and 80°C showed opposite behavior. It was also observed that for higher temperatures the drying occurs more rapidly influencing positively the final humidity of the product with lower values ranging from 3.88 to 9.17% (b.s). This fact may contribute to better storage of the product obtained.

KEYWORDS: Waste. Reapprove. Drying.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
1.1 OBJETIVOS	9
1.1.1 <i>Objetivo Geral</i>	9
1.1.2 <i>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</i>	9
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	10
2.1 RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS	10
2.2 CINÉTICA DE SECAGEM	11
2.3 SECAGEM DE RESÍDUOS AGRÍCOLAS	13
2.4 MODELOS MATEMÁTICOS DE SECAGEM	15
3 MATERIAL E METODOLOGIA	17
3.1 MATERIAL	17
3.2 METODOLOGIA	17
3.2.3 <i>Cinética de Secagem</i>	18
3.2.3.1 <i>Curvas de secagem</i>	18
3.2.4 <i>Determinação da umidade de equilíbrio</i>	19
3.2.5 <i>Modelos Matemáticos Aplicados a Cinética de Secagem</i>	19
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
4.1 ESTUDO DAS CURVAS DA CINÉTICA DE SECAGEM	20
4.2 ESTUDO DA TAXA DE SECAGEM EM FUNÇÃO DA UMIDADE MÉDIA	21
4.3 MODELAGEM DO PROCESSO DE SECAGEM	22
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	26
REFERÊNCIAS	27

1 INTRODUÇÃO

Devido à suas características climáticas e do solo, o Brasil se destaca como um dos maiores produtores de frutas cítricas do mundo, apresentando condições endofoclimáticas favoráveis à adaptação de diversas espécies frutíferas, o que permite seu cultivo frente aos diversos climas, em contrapartida, a perecibilidade dos frutos resulta em grandes perdas e geração de resíduos. É cada vez mais crescente a comercialização de produtos derivados deste tipo de frutas, as indústrias de polpas cresceram vertiginosamente, sendo a polpa utilizada, em sua grande maioria, na elaboração de sucos, assim, o desperdício de cascas e sementes vêm crescendo na mesma proporção (Autores, ano).

O desperdício de alimentos no Brasil é alto, chegando a 26 milhões de toneladas ao ano, o que poderia alimentar 35 milhões de pessoas. De cada 100 caixas de produtos agrícolas colhidos, apenas 61 chegam à mesa do consumidor e 60% do lixo urbano produzido é de origem alimentar (EMBRAPA, 2007). Uma maneira de evitar o desperdício seria a utilização de todas as partes dos alimentos, afinal, agregam grande valor nutricional. Segundo Rocha *et al.* (2008), cascas, talos e folhas são boas fontes de fibras e lipídeos, tendo-se como exemplos as sementes de abóboras, talos de brócolis, de couve, de espinafre, cascas de banana, de laranja, de limão, rabanete e folhas de brócolis. Tais partes não aproveitáveis dos alimentos poderiam ser utilizadas enfatizando o enriquecimento alimentar, diminuindo desperdício e aumentando o valor nutricional das refeições.

Visando minimizar os custos de produção e ainda se preocupando com os impactos ambientais, as indústrias estão criando formas alternativas de reaproveitamento desses resíduos para geração de produtos para consumo humano, uma vez que esses resíduos se tornam grandes problemas tecnológicos para as mesmas, afinal precisam ser descartados. Tais resíduos não são comuns na culinária e hábitos da população, mas apresentam características organolépticas importantes e são fontes de nutrientes, quando adicionados a alimentos podem modificar e influenciar na cor, sabor, textura. Ainda nesse contexto, reforçam a ideia de que o uso de resíduos agrícolas, além de ser economicamente viável, ajuda a resolver os problemas ambientais decorrentes do seu acúmulo na natureza (ALEXANDRINO *et al.*, 2007).

De acordo com Batista (2008), nas últimas décadas, as indústrias de alimentos têm avançado significativamente em relação à aplicação de novas tecnologias, especialmente na área da secagem ou desidratação, técnicas que promovem a remoção de água dos alimentos por meio de seu aquecimento, a água é retirada pelo ar ou gás quente em que a capacidade

desses gases depende da temperatura e umidade do mesmo. O processo de secagem está se tornando essencial para a fabricação de alguns produtos.

A desidratação de produtos alimentícios é um processo comumente utilizado para remover a atividade de água do produto, a fim de melhorar a estabilidade dos alimentos, reduzindo a atividade de microrganismos e minimizando as alterações físicas e químicas durante o armazenamento, além disso, facilita o armazenamento, transporte e agregam valor ao produto (GURGEL, 2014).

Por meio das informações encontradas nas curvas de secagem é possível desenvolver processos e dimensionar equipamentos, desta forma, estima-se o tempo que um dado produto levará para secar e, a partir deste tempo de secagem, estimar a quantidade de energia gasta que influenciará no custo de processamento e refletirá no preço final do produto (OLIVEIRA, 2014).

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a cinética de secagem da mistura de cascas de abacaxi, resíduo da extração da polpa da acerola e casca de laranja sob o efeito de diferentes temperaturas para obtenção de uma farinha que poderá ser utilizada como fonte de ração humana ou animal. Como também, um bioadsorvente para tratamento de efluentes contaminados com metais pesados ou corantes.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

O Objetivo deste trabalho é avaliar a cinética de secagem da mistura de resíduo: casca de abacaxi, acerola e casca de laranja.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudar o efeito da temperatura no processo de secagem.
- Avaliar os modelos empíricos de secagem a partir de análise estatística

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS

Segundo Silva *et al.* (2014) a alta produção de produtos provenientes de frutas tem gerado grandes quantidades de resíduos, compostos por cascas, sementes e polpas, equivalentes a 50% do peso da fruta, com umidade em torno de 82%, sendo utilizado como complemento na ração animal. Tais rejeitos podem acarretar diversos problemas quando descartados de forma inadequada, assim, tem aumentado a busca por novas alternativas para solucionar possíveis problemas.

O crescimento de resíduos agroindustriais é diretamente proporcional ao crescimento do mercado de frutas de maneira geral. Diversos resíduos são gerados após o processamento das polpas de frutas, estes materiais, em sua maioria, não são utilizados na produção industrial, constituídos por cascas, frutas refugadas e centros das frutas, as sementes e caroços (EMBRAPA, 2003).

A disposição inadequada de resíduos pode representar perda de biomassa e de nutrientes, além disso, contribui para a poluição ambiental, poluição de rios, solos e acarreta problemas de saúde humana, ademais, o alto custo associado ao tratamento, à disposição final e ao transporte dos resíduos tem efeito direto sobre o preço final do produto (OLIVEIRA, 2014; ROSA *et al.*, 2011).

Oliveira (2014), em seu estudo, aponta que diversas alternativas estão surgindo em busca de reaproveitar os resíduos provenientes das indústrias, tais como, a geração de novos produtos para consumo humano, tendo em vista que, os subprodutos de origem vegetal, compostos por cascas, sementes, ramos e bagaços são ricos em proteínas, fibras, óleos e enzimas, podendo ser incrementados a produtos para agregar valor, reservando-se os detritos para o fabrico de ração animal e adubos.

O resíduo gerado durante o processamento do abacaxi tem alta capacidade de reutilização e a crescente preocupação com os impactos ambientais incentiva a criação de projetos que levam à sustentabilidade do sistema industrial, possibilitando a redução do impacto ambiental das indústrias onde estão localizadas e agregam valor ao produto final (ALEXANDRE *et al.*, 2013).

De acordo com Sobrinho (2014), os resíduos produzidos pelas indústrias brasileiras poderiam ter fins que minimizariam os impactos ambientais e mais efeitos benéficos ao homem; em sua grande maioria, na produção de sucos, doces e extratos, as cascas e sementes

são descartadas, sendo que poderia ser destinado para diminuir o desperdício alimentar e contribuir para o incremento da alimentação humana. O autor comenta que os problemas provenientes do descarte inadequado de resíduos se estendem a possibilidade de proliferação de doenças, uma vez que há a deterioração da matéria orgânica, possibilitando o desenvolvimento de microrganismos, tendo em vista, que estes são os causadores da poluição de solos e rios, assim, a reutilização desses resíduos afeta positivamente tanto o homem, quanto o meio ambiente. Para que haja um reaproveitamento eficiente da grande quantidade de resíduo nos âmbitos econômico e ambiental, são necessários estudos científicos e tecnológicos visando agregar valores aos produtos finais.

A falta de informações acerca do valor nutritivo das diversas partes dos frutos e plantas, o processamento e o baixo índice no consumo humano na forma integral dos alimentos são os principais agentes para o aumento do desperdício e geração dos resíduos (FERNANDES *et al.*, 2008).

De acordo com Sobrinho (2014) e Pereira *et al.* (2013), a partir de estudos de Lousada Junior (2006) e Caetano *et al.* (2009), após o processamento de frutas para produção de sucos e polpas, 40% de resíduos agroindustriais são gerados, principalmente, os frutos de manga, acerola, maracujá e caju, estes rejeitos são formados, em geral, por cascas e sementes que não recebem a devida atenção, possivelmente, em decorrência da falta de valor comercial.

Segundo Pelizer (2007) no intuito de diminuir os impactos ambientais causados pela geração de resíduos, as empresas têm criado políticas ambientais para sanar os problemas com o meio ambiente. Sendo assim, há uma grande preocupação, por parte dos estudiosos, nos impactos ambientais e no elevado índice de desperdício nas indústrias alimentícias, levando os mesmos a buscarem alternativas para serem gerados novos produtos.

De acordo com Jerônimo *et al.* (2002) uma grande parte dos resíduos são ricos em açúcares e fibras, tendo alto valor nutricional, sendo composto, principalmente, por matéria orgânica, pode ser utilizado na alimentação humana e na elaboração de ração animal, devido ao grande teor de carboidratos. Sousa *et al.* (2011) confirma que estes resíduos são constituídos de vitaminas, minerais e fibras, mas que há poucos estudos e utilização acerca dos mesmos, acabando sendo desperdiçados.

2.2 CINÉTICA DE SECAGEM

Na operação de secagem, ocorrem, simultaneamente, dois processos no produto, tanto a transferência de calor do meio circundante resultando na evaporação do líquido, como a

transferência de massa na forma de líquido ou vapor da parte interna do material para a superfície, e então, para a corrente do fluido de secagem (BACURAU *et al.*, 2014). A secagem convectiva pode inibir o desenvolvimento da atividade biológica de microrganismos e preservar o resíduo das indústrias de suco, reduzindo a umidade do material (STHEL *et al.*, 2013).

A secagem de materiais orgânicos tem como objetivo remover a umidade excessiva na estrutura do material por meio da evaporação, utilizando convecção de ar forçada, visando manter a qualidade do material quando armazenado por longos períodos, sabendo-se que sua decomposição tem relação com sua atividade de água; além disso, na produção de adsorventes, o processo de secagem permite que os poros do material estejam livres para que ocorra a adsorção (BERTO *et al.*, 2015).

Goneli *et al.* (2014) apontam que a secagem se caracteriza por apresentar uma transferência de calor e massa, simultaneamente, entre o ar de secagem e o produto a ser seco, em que a temperatura tem efeito direto sobre o processo, tendo em vista, que o seu aumento provoca o aumento da pressão parcial de vapor do produto e, conseqüentemente, a diminuição do teor de água.

Em estudos realizados por Carvalho *et al.* (2015), os autores afirmam que é de fundamental importância a secagem quando se deseja caracterizar folhas para obter suas características nutricionais, principalmente, para produção de fármacos e diversos alimentos, os produtos submetidos ao processo de secagem apresentam maior estabilidade química, pois há a interrupção de processos metabólicos que ocorrem mesmo após a coleta.

Um parâmetro importante para ser avaliado no processo de secagem é a taxa de secagem, ou seja, a velocidade com que a água é retirada do material, afinal, quando a velocidade da operação é lenta, pode ocorrer a proliferação de microrganismos indesejáveis, enquanto que uma operação de forma rápida pode ocasionar a degradação dos princípios ativos, desta forma, para que não sejam alteradas as propriedades físico-químicas do material, é necessário que a taxa de secagem seja satisfatória para o material de estudo (LIMA *et al.*, 2008; CARVALHO *et al.*, 2015).

A complexidade do processo de secagem é referente à transferência de calor e massa e às mudanças provocadas no volume; materiais alimentícios podem passar por diversas alterações quando submetidos à secagem, como estrutura, sabor, cor e composição química, desta forma, os estudos sobre o processo necessitam de conhecimento acerca do assunto e de análises das variáveis que influenciam no processo (DOYMAZ e GOL, 2011; PUIG *et al.*, 2012; STURM *et al.*, 2014; RUSSO *et al.*, 2013).

Atualmente há uma enorme geração de resíduos de frutas, estes resíduos podem ser reaproveitados de diversas formas, comprovando este fato, Cunha *et al.* (2013) e Silva *et al.* (2009), apontam que uma forma de reaproveitar o resíduo de maracujá é por meio da produção de barras de cereais, mas para que isso ocorra é necessário que o resíduo seja submetido à secagem, a fim de retirar a umidade do material, visando a redução da atividade microbiana.

Silva (2015), afirma que, diversas alterações estruturais são observadas quando produtos do gênero alimentício sofrem perda de umidade por meio da secagem, tais como encolhimento e mudanças de cor, tais alterações têm efeito direto sobre a qualidade do produto final e influenciam diretamente na escolha do alimento pelo consumidor.

Em geral, entende-se por secagem a operação unitária que tem por objetivo remover um líquido contido em um sólido para uma fase gasosa insaturada por meio de vaporização, esta fase não pode ser saturada para que haja transferência da umidade como vapor, este processo de vaporização térmica distingue o processo de secagem da centrifugação e da filtração (PEIXOTO *et al.*, 2014; PACHECO, 2012).

Para Meloni (2003) o processo de secagem caracteriza-se por envolver três mecanismos de transferência de calor, sendo eles, radiação, condução e convecção, este último o mais amplamente utilizado nos processos comerciais de secagem, este mecanismo utiliza o ar aquecido para transferir calor ao produto, assim, a umidade passa do interior do material para a superfície. O autor reforça que há um aquecimento do produto que promove uma transferência de umidade para o ar, que ao sair da estufa, apresenta condições diferentes das condições de entrada.

No processo de desidratação há uma concentração de açúcar no produto com a remoção da água, obtendo-se um produto de cor e sabor acentuados, desta maneira, o açúcar é fundamental para o sabor do produto final; frutas maduras após o processo de secagem resultam em produtos de cor escura devido à produção de pigmentos (melanoidinas) com a exposição ao ar quente de secagem (BUENO, 2014).

2.3 SECAGEM DE RESÍDUOS AGRÍCOLAS

Barreiro *et al.*, (2016) avaliaram a cinética de secagem da casca de abacaxi submetidas à desidratação a 70°C por 340 minutos em estufa de circulação de ar natural por meio de pesagens sucessivas das amostras e verificaram que a redução na umidade das amostras resultou na redução de sua atividade de água, fato já esperado, pois a secagem visa a redução

de teor de água do alimento, os autores ajustaram os dados obtidos aos modelos matemáticos de Page e Henderson e Pabis, porém, melhores resultados foram obtidos quando ajustados à Lei de Fick, haja vista que, obteve-se menor erro médio relativo.

Galdino *et al.* (2016) ao estudar a cinética de secagem da casca de cacau submetida à dois métodos de secagem (convecção forçada tipo túnel e estufa de convecção natural) sob as temperaturas de 60, 70 e 80°C, constatou por meio de modelos matemáticos e curvas de secagem que a maior temperatura apresentou uma taxa de secagem mais elevada, em que sua umidade diminuiu de forma mais rápida em relação ao tempo e a velocidade do ar não apresentou influência significativa sobre o processo.

Berto *et al.* (2015) após estudar a cinética de secagem de cascas de banana de variedades diferentes submetidas à desidratação em estufa a 40, 50, 60, 70 e 80°C, constataram que a variedade da fruta, nanica e prata, não influenciou no processo de secagem, observaram ainda, por meio das curvas de secagem que o tempo reduziu significativamente com o aumento da temperatura nas duas espécies de bananas e houve um aumento da difusividade, afinal, o coeficiente de difusão é diretamente proporcional a elevação da temperatura; para um melhor ajuste dos dados experimentais, os autores utilizaram o modelo Logarítmico, no qual encontraram um maior valor para o coeficiente de determinação.

Santos *et al.* (2015) estudando a cinética de secagem em cascas de pitaya apontaram que a perda de umidade durante o início do processo é maior, verificada pelas curvas de secagem, sendo a temperatura o parâmetro mais influente para a diminuição da atividade de água, as cascas foram submetidas à temperatura de 50, 60 e 70°C e verificou-se que o tempo de secagem é inversamente proporcional ao aumento da temperatura.

Oliveira (2014) destaca que o aumento da temperatura do ar de secagem teve efeito direto sobre a redução da umidade e da atividade de água da casca do abacaxi quando passaram pelo processo de secagem a 70 e 90°C e velocidade do ar entre 2,5 e 3,1 m.s⁻¹, o autor verificou uma taxa de umidade mais pronunciada durante os 30 primeiros minutos, após este intervalo a taxa tornou-se mais constante até chegar a condição de equilíbrio, uma cinética mais lenta foi observada na condição inferior de 70°C e mais rápida na condição de 90°C.

Alexandre *et al.* (2013), estudando a secagem da casca de abacaxi enriquecido com levedura para caracterizar e avaliar a cinética de secagem, obtiveram uma massa seca em torno de 90,27% quando submetidos às temperaturas de 40 a 60°C e velocidade do ar de secagem entre 0,8 e 1,3 m.s⁻¹. Os autores verificaram que a temperatura teve influência sobre

a umidade final, além disso, não houve influência estatisticamente significativa da velocidade de ar de secagem.

Bacurau *et al.* (2014) utilizaram a entrecasca da melancia para avaliar a cinética de secagem em estufa de circulação em diferentes temperaturas variando a massa, o peso das amostras entre 100 e 500g e temperatura do ar de 50, 60 e 70°C, foi observado a partir das curvas de cinética de secagem e análise estatística que o parâmetro que mais influenciou na secagem da entrecasca foi o ar de secagem e notaram que inicialmente houve uma alta taxa de secagem com evaporação da água, seguida por um período de taxa de secagem decrescente, para avaliar a taxa de secagem utilizou-se o modelo de Page, este se mostrou mais eficaz na representação dos dados de secagem.

Moura *et al.* (2014) com o objetivo de utilizar o resíduo de maracujá para avaliar sua cinética de secagem em secador rotatório com leito fixo adaptado, submeteram os resíduos ao processo de secagem sob as temperaturas de 75 e 95°C, os experimentos foram interpretados de acordo com diversos modelos matemáticos, porém, os modelos de Yagcioglu *et al.*, Midilli e Kucuck foram os que melhor ajustaram com R^2 mais próximo de um (1) e χ^2 mais próximo de zero (0), além disso, concluíram que a taxa de umidade para a temperatura de 95°C tornou-se constante de forma mais rápida, visto que, o aumento da temperatura influencia fortemente na taxa decrescente de umidade, verificou-se ainda, que a difusividade do material aumenta de acordo com que a temperatura do ar aumenta.

De acordo com estudos de Sthel *et al.* (2014), ao secar casca de laranja para obtenção de pectina, verificou-se que o efeito da velocidade do ar foi menor em relação à temperatura, visto que, a temperatura aumenta a velocidade de secagem comprovando as observações feitas por Fiorentin *et al.* (2010).

2.4 MODELOS MATEMÁTICOS DE SECAGEM

A utilização de modelos matemáticos que consideram as características do sistema de transferência de massa em alimentos é uma ferramenta cada vez mais explorada pelos pesquisadores, sendo de grande utilidade para o cálculo do desenvolvimento eficiente de cada análise, tendo em vista a melhoria no processamento, redução de perdas e aumento da qualidade do produto final (DANTAS *et al.*, 2011).

O método empírico é um método de abordagem com base em dados experimentais e na análise adimensional. Os modelos empíricos de secagem apresentam uma relação direta entre o teor médio de umidade e o tempo de secagem, mas omitem os fundamentos do

processo de secagem e seus parâmetros não têm significado físico e, portanto, não oferecem uma visão apurada dos processos importantes que ocorrem durante a secagem, embora descrevam as curvas desta para determinadas condições experimentais (MARTINAZZO *et al.*, 2007).

A modelagem e simulação é uma importante ferramenta de análise disponível para projeto e operação de processos ou sistemas. Esta pode ser útil em qualquer uma das fases do ciclo de vida de um sistema da produção simulando processos como experimentos de sistemas ou fenômenos físicos, por meio de modelos matemáticos que representam características observadas em sistemas reais possibilitando avaliar formas de aperfeiçoar a operação (PAIVA, 2005).

A aplicação de modelos confiáveis permite prever o comportamento dos diversos fenômenos que ocorrem durante o processo de secagem, entre eles: as melhores condições, o estudo da influência da temperatura de secagem, o tempo de exposição da matéria-prima a dada temperatura (ALVES, 2014).

3 MATERIAL E METODOLOGIA

3.1 MATERIAL

Os frutos retratados no presente trabalho, abacaxi, acerola e laranja, foram adquiridos no decorrer do ano de 2017, nos meses de março, abril e maio, junto a um supermercado da cidade de Campina Grande, Paraíba.

3.2 METODOLOGIA

Neste tópico apresentaremos as metodologias utilizadas para o monitoramento das curvas de secagem e análises dos resultados obtidos.

3.2.1 Preparação dos Frutos

Os experimentos foram realizados no Núcleo de Pesquisa e Extensão em Alimentos da, CCT, Universidade Estadual da Paraíba, onde os frutos foram selecionados de acordo com seu nível de coloração e livres de sinais de apodrecimento. Em seguida, imersos em solução clorada 5% durante 15min. Os frutos abacaxi e laranja foram despolpados manualmente com auxílio de faca de aço inox. As cascas do abacaxi e da laranja consideradas como resíduos foram processados em um processador centrífugo comercial simples para obtenção de um material triturado. O resíduo da acerola foi obtido por extração da polpa da fruta utilizando o mesmo processador. Posteriormente, os resíduos foram misturados na proporção de 1:6:10 (casca de laranja; acerola; casca de abacaxi) em bandejas circular de alumínio para secagem em estufa com circulação de ar.

3.2.2 Determinação da Umidade Inicial do Produto

A umidade inicial da amostra foi determinada com auxílio de uma balança determinadora de umidade com infravermelho (ID200 – determinador de umidade 200g – Marte). A análise foi realizada em triplicata. A umidade inicial do produto em base seca foi calculada de acordo com a Equação 1.

$$U_i = \frac{m_i - m_f}{m_f} \quad (1)$$

Em que:

U_i : Umidade inicial em base seca (g de água/g de massa seca).

m_i : Massa inicial da amostra úmida (g).

m_f : Massa fina da amostra seca (g).

3.2.3 Cinética de Secagem

Para determinação das curvas de secagem, as amostras de 300g foram submetidas à secagem em estufa de circulação de ar sob as temperaturas de 50, 60, 70, 75 e 80°C mediante pesagens sucessivas, a cada 5 minutos nas duas primeiras horas; a cada 10 minutos na terceira e quarta hora e a cada 20 minutos até atingir peso constante. A cinética de secagem foi estudada por meio das curvas do adimensional de umidade em relação ao tempo.

Ao final de cada experimento o resíduo seco foi triturado em liquidificador industrial e submetido ao processo de envasamento a vácuo em sacos plásticos e armazenado em local seco e fresco para evitar a proliferação de fungos.

3.2.3.1 Curvas de secagem

A partir dos dados monitorados da perda de peso em função do tempo durante a secagem realizada em estufa com circulação de ar foram construídas as curvas da cinética de secagem para cada experimento, fazendo uso das Equações 2 e 3:

$$m_s = \frac{m_i}{1 - U_i} \quad (2)$$

$$U(t) = \frac{m(t) - m_s}{m_s} \quad (3)$$

Em que:

m_i : Massa inicial (g).

m_s : Massa seca (g).

$m(t)$: Massa em função do tempo (min).

$U(t)$: Umidade em função do tempo (g de água/g de massa seca).

3.2.4 Determinação da umidade de equilíbrio

A umidade de equilíbrio foi obtida a partir das curvas de taxa de secagem em função da umidade média por extrapolação da curva.

3.2.5 Modelos Matemáticos Aplicados a Cinética de Secagem

Para o ajuste matemático das curvas de secagem dos resíduos foram utilizadas as equações de Henderson e Pabis, Page e Newton, ajustadas por meio do programa computacional *Statistica*, descritas na Tabela 1.

Com os dados das pesagens das amostras durante o processo, calcularam-se as razões de umidade, obtidas por meio da Equação 4.

$$U^* = \frac{U_i - U_{eq}}{U_i - U_{eq}} \quad (4)$$

Em que:

U*: Umidade adimensional.

U_{eq}: Umidade de equilíbrio.

Tabela 1 – Modelos matemáticos utilizados para predizer o fenômeno de secagem do resíduo das frutas.

EQUAÇÕES	MODELOS
$U^* = a \cdot \exp(-k \cdot t) \quad (5)$	Henderson e Pabis
$U^* = \exp(-k \cdot t^n) \quad (6)$	Page
$U^* = \exp(-k \cdot t) \quad (7)$	Newton

Fonte: Própria autoria (2017).

Em que:

a, b, k e n: Constantes dos respectivos modelos matemáticos.

t: Tempo (min).

Para determinação do melhor modelo ajustado aos dados experimentais utilizou-se como critério o coeficiente de determinação (R^2), cálculo do coeficiente de Akaike e o Erro Padrão (SE).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ESTUDO DAS CURVAS DA CINÉTICA DE SECAGEM.

Os teores de umidade inicial das amostras de mistura de resíduos da casca da laranja, casca de abacaxi e resíduo da extração da polpa da acerola submetidos às temperaturas de 50, 60, 70, 75 e 80°C foram, respectivamente, 462; 429; 442; 384 e 460 em base seca.

O processo de secagem da mistura dos resíduos realizado foi descrito por meio das curvas de secagem obtidas a partir do monitoramento da perda de peso da amostra descrito na metodologia. As Figuras 1 e 2 representam a redução do conteúdo de umidade da mistura durante a secagem em relação ao tempo de secagem.

Figura 1 - Conteúdo de umidade em base seca em função do tempo.

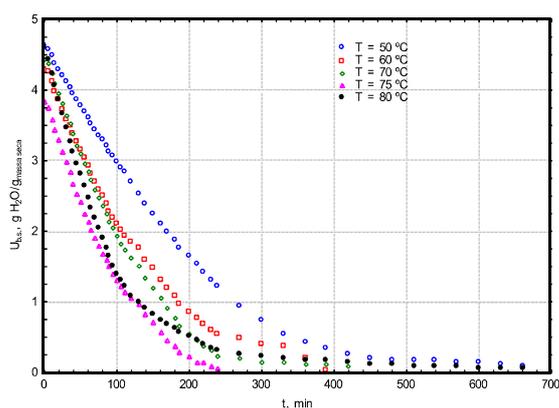
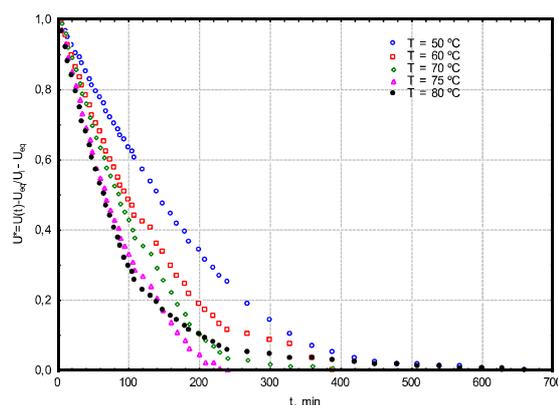


Figura 2 - Curva de umidade adimensional em função do tempo.



Verifica-se que em todas as temperaturas estudadas há uma diminuição mais rápida da umidade no início do processo. A velocidade com que isso ocorre diminui com o passar do tempo em virtude da quantidade de umidade do produto ir reduzindo gradativamente até a umidade de equilíbrio, tornando-se constante.

Observa-se na Figura 1 que a temperatura tem efeito direto sobre o processo de secagem. Quanto maior a temperatura de secagem, mais rápido o processo e o menor tempo para se atingir o equilíbrio, contudo, na temperatura de 75°C, observou-se que a umidade de equilíbrio foi atingida de forma mais rápida quando comparado a temperatura de 80°C, em decorrência, possivelmente, de a umidade inicial da amostra ser menor no ensaio realizado a temperatura de 75°C. Este efeito pode ser minimizado de acordo com a Figura 2, empregando-se as curvas da umidade adimensionalizada com o tempo.

Na Tabela 2 estão descritos os valores da umidade final do produto em base seca e do tempo de secagem para cada temperatura estudada.

Tabela 2. Tempo de secagem em função da temperatura e conteúdo de umidade.

Ensaio	Temperatura	U _{f,s.} (%)	t _{sec} (min)
1	50	9,17	660
2	60	6,68	320
3	70	5,95	290
4	75	5,34	270
5	80	3,88	260

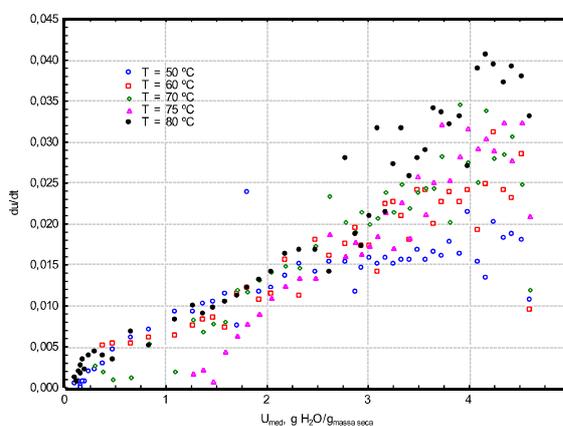
Os resultados encontrados corroboram com a análise feita anteriormente a partir das curvas de secagem. A temperatura exerceu efeito significativo sobre a umidade final do produto em base seca, assim, pode-se afirmar que quanto maior for a temperatura de secagem, menor será a umidade final do produto, sendo esta atingida em um menor tempo de secagem. Comportamento semelhante foi destacado por Feitosa (2013), avaliando o tempo de secagem de resíduos de acerola, cajá, caju e ciriguela.

Almeida *et al.* (2006) após avaliar a cinética de secagem de resíduos de frutos de acerola, apontou que a temperatura é o fator que mais interfere no tempo de secagem, esta proporciona o aquecimento da água presente nos resíduos, ocasionando uma evaporação, consequentemente, uma diminuição no peso e volume do material.

4.2 ESTUDO DA TAXA DE SECAGEM EM FUNÇÃO DA UMIDADE MÉDIA

A Figura 3 descreve o comportamento das curvas de taxa de secagem para os ensaios realizados.

Figura 3 – Taxa de secagem em função da umidade de equilíbrio.



Observa-se que em todos os experimentos realizados ocorre um período de aquecimento com elevada taxa de evaporação da água, seguido por um longo período de taxa decrescente.

De acordo com Oliveira (2014) estudando a secagem da casca de abacaxi em leite fluidizado, o processo de secagem ocorre basicamente com período de taxa decrescente não apresentando período à taxa constante. O autor verificou que para todos os experimentos há um período de indução, quando a velocidade no início do processo é mais alta devido à grande quantidade de água disposta na superfície do material, em seguida, é possível observar um período de taxa decrescente, no qual a velocidade de secagem diminui com a redução da umidade do material, não foi verificado período de taxa constante.

Segundo Park *et al.* (2007), para materiais biológicos dificilmente existe a ocorrência de períodos de taxa constante de secagem, já que nas condições operacionais de secagem, as resistências a transferência de massa se encontram no interior do produto, fazendo com que a migração de água da superfície para o ambiente seja maior que a migração do interior para a superfície do produto.

4.3 MODELAGEM DO PROCESSO DE SECAGEM

A aplicação de modelos matemáticos confiáveis possibilita prever o comportamento das variáveis que influenciam no processo de secagem, entre eles, as melhores condições, o efeito da temperatura de secagem e o tempo de exposição da matéria-prima a uma determinada temperatura (ALVES, 2014).

Os dados experimentais de secagem da mistura de cascas foram ajustados aos modelos de secagem de Henderson e Pabis, Page e Newton, utilizando-se a análise de regressão não linear, empregando-se o programa computacional *Statistics 7.0*.

Foram calculados os coeficientes de Determinação (R^2) para cada experimento nas temperaturas 50, 60, 70, 75 e 80°C para avaliar a qualidade de ajuste de cada modelo. Para predizer o melhor modelo utilizado no ajuste utilizou-se como parâmetro o número de Akaike e o erro padrão. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 3.

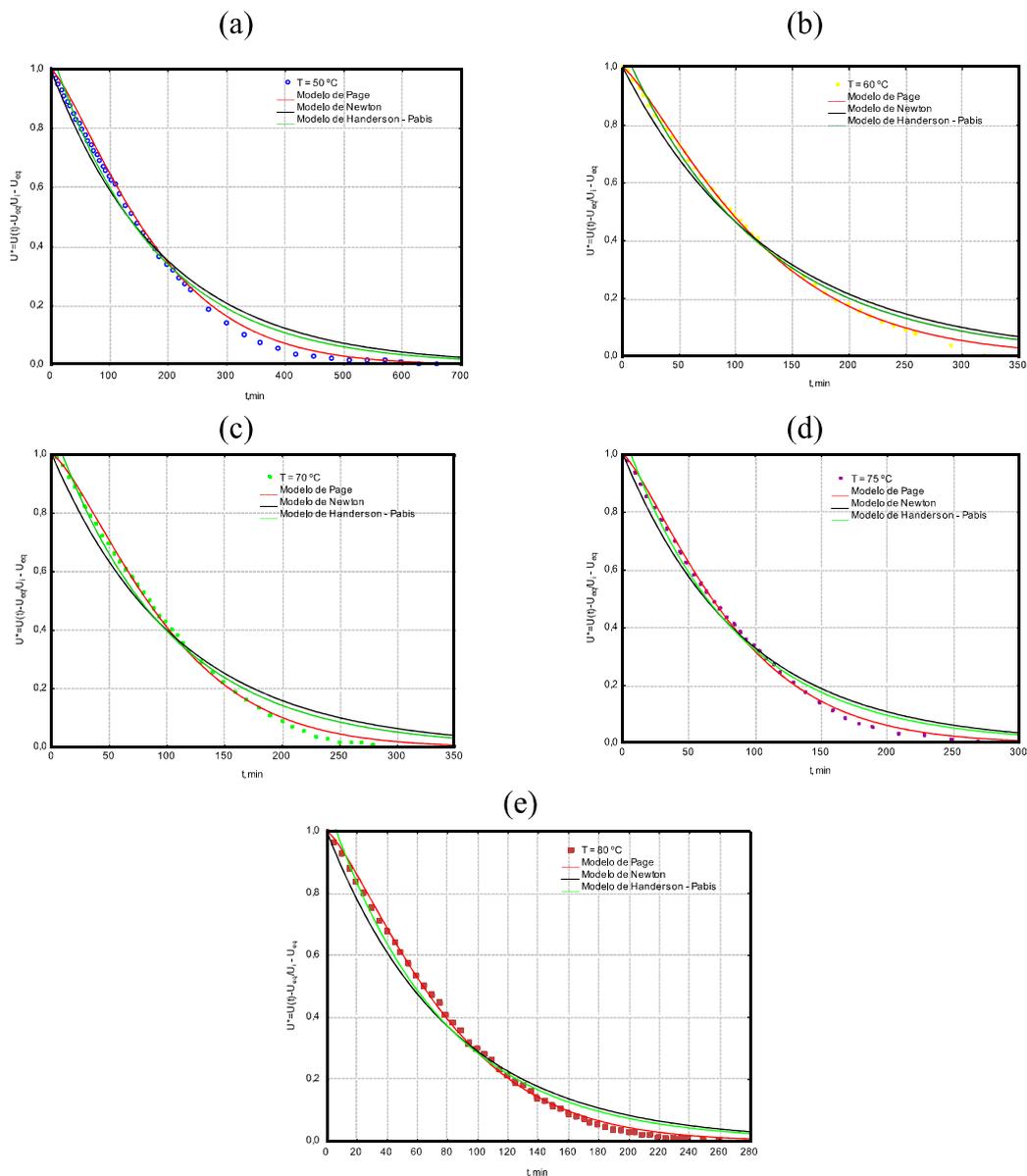
Tabela 3 -Resultados da análise estatística dos modelos analisados.

MODELO	TEMPERATURA (°C)	R²	SE	AIC
Page	50	0,998	0, 0179	-399,86
	60	0,999	0, 0104	-371,99
	70	0,998	0, 0159	-345,48
	75	0,999	0, 0130	-310,52
	80	0,998	0, 0139	-433,55
Newton	50	0,991	0, 0443	-311,83
	60	0,990	0, 0415	-260,93
	70	0,984	0, 0570	-240,64
	75	0,989	0, 0443	-224,41
	80	0,988	0, 0478	-310, 05
Henderson e Pabis	50	0,994	0, 0348	-333,83
	60	0,994	0, 0311	-282,44
	70	0,990	0, 0447	-259, 07
	75	0,993	0, 0348	-239,67
	80	0,992	0, 0388	-329,36

De acordo com os dados descritos do coeficiente de determinação R^2 na Tabela 3, observamos que os modelos empíricos utilizados ajustam satisfatoriamente os dados obtidos experimentalmente, onde R^2 em todos os casos são muito próximos a 99%. Contudo, a partir da análise estatística realizada usando como critério o Akaike (AIC) e o erro padrão (SE), o modelo de Page mostrou uma melhor qualidade no ajuste dos dados obtidos apresentando valores de Akaike mais negativos e menores valores do erro padrão. A partir destes resultados os dados experimentais foram ajustados ao modelo de Page.

Nas Figuras 4a, b, c, d e e estão ilustrados os ajustes dos modelos utilizados para cada ensaio. Observa-se que o modelo de Page descreve um ajuste melhor aos dados experimentais corroborando com os resultados da Tabela 3.

Figura 4 - Curvas de secagem ajustadas para os modelos utilizados.



A Tabela 4 ilustra os valores dos parâmetros do modelo de Page.

Tabela 4 - Parâmetros obtidos pela aplicação do modelo matemático de Page.

Experimento	K	n
50°C	0,0011	1,3048
60°C	0,0023	1,2511
70°C	0,0017	1,3566
75°C	0,0031	1,2802
80°C	0,0029	1,3168

Verifica-se que os valores de K sofrem um aumento significativo com a elevação da temperatura de secagem, o que é esperado. Em relação ao parâmetro N observa-se um valor aproximadamente igual a 1,3 corroborando com resultados encontrados por Hofsky *et al.* (2013) e Doymaz e Pala (2003).

Na Tabela 4 os valores descritos para o parâmetro K, que representa a constante da taxa de secagem, aumentam com a elevação da temperatura. Contudo, observa-se que para a temperatura de 70°C ocorreu uma redução deste valor. Comportamento semelhante foi encontrado por Hofsky *et al.*(2013) ao avaliar o parâmetro K, verificando um aumento deste quando se estudou secagem de cascas de abacaxi nas temperaturas de 40 e 60°C. Doymaz e Pala (2003) estudando a secagem de milho encontraram resultados semelhantes em relação ao aumento da constante K de secagem. Resultado similar foi encontrado por Alexandre *et al.* (2013) após avaliar a cinética de secagem de resíduo de abacaxi enriquecido com levedura em leite estático, observando aumento da constante K de 40 para 60°C, mas comportamento contrário ao se avaliar a temperatura de 50°C.

Hofsky *et al.*(2013) estudaram a cinética de secagem do resíduo abacaxi enriquecido, os autores verificaram que os modelos utilizados de Page, Henderson-Pabis e Lewis ajustaram satisfatoriamente os dados experimentais, com modelo de Page sinalizando discretamente maiores valores de R^2 e os menores valores de desvio quadrático médio para todas as temperaturas, ajustando-se melhor aos dados observados.

Bacurau *et al.* (2014) utilizaram modelos matemáticos para avaliar a cinética de secagem da entrecasca da melancia e constataram que a taxa de secagem ajustou-se melhor ao modelo de Page, quando comparou-se os valores de R^2 e o Erro Padrão.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A cinética de secagem das cascas de abacaxi, casca de laranja e resíduo da extração da polpa da acerola foi eficiente utilizando a estufa com circulação de ar. De acordo com os resultados a temperatura é uma variável que apresenta grande influência no processo. O aumento da temperatura do ar de secagem reduz de maneira significativa a umidade da farinha obtida. Por outro lado, o modelo de Page pode ser utilizado para prever o comportamento das curvas de secagem apresentando um bom ajuste aos dados experimentais. A farinha obtida apresenta um teor de umidade dentro dos padrões estabelecidos de acordo com a ANVISA apresentando teor de umidade em base seca final de aproximadamente 3,86 a 9,17%. Por fim, pode-se concluir que os resultados apresentados neste trabalho indicaram que o processo de secagem em estufa com circulação de ar pode ser usado para obtenção de uma farinha e, provavelmente, aceitável para a dieta humana ou ração animal. Como também, poderá ser usada como bioadsorvente para tratamento de efluentes contaminados com corantes ou metais pesados.

REFERÊNCIAS

- ALEXANDRE, Hofsky V., et al. **Cinética de secagem do resíduo de abacaxi enriquecido**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 17.6 (2013): 640-646.
- ALEXANDRINO, Ana Maria et al. Aproveitamento do resíduo de laranja para a produção de enzimas lignocelulolíticas por *Pleurotus ostreatus* (Jack: Fr). **Ciênc. Tecnol. Aliment**, v. 27, n. 2, p. 364-368, 2007.
- ALMEIDA, F. A. C.; GOUVEIA, J.P. G.; SILVA, F.L.H. **Avaliação da cinética de secagem em frutos de acerola**. Revista de Biologia e Ciências da Terra, 6(1): 145– 151, 2006.
- ALVES, S. B. **Estudo teórico e experimental do processo de secagem do abacate**. (*Persea americana* Mill). 2014.
- BACURAU, ÍM, et al. **Estudo do processo de secagem da entrecasca de melancia (*Citrullus lanatus*) produzindo a farinha utilizada para confecção de novos produtos**. BlucherChemicalEngineeringProceedings 1.2 (2015): 3788-3796.
- BARREIRO, NÍVIA; CHAVES, MÁRCIA ALVES; GARCIA, CAROLINA CASTILHO. **Cinética de secagem de cascas de abacaxi**. Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia. Foz do Iguaçu - PR, 2016.
- BERTO, P.O.R, et al. **Estudo da cinética de secagem das cascas de bananas das variedades nanica e prata**. BlucherChemicalEngineeringProceedings 1.3 (2015): 375-380.
- BUENO, Mariana Aparecida Arteiro. **Caqui CV Fuyu submetido à desidratação osmótica e secagem por convecção**. BS thesis. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2014.
- CARVALHO, YASMIN OLIVEIRA, et al. **Cinética de secagem das folhas de moringa oleífera lam**. BlucherChemicalEngineeringProceedings 2.1 (2015): 1739-1747.
- DANTAS, L. A.; MATA, M.; DUARTE, M. E. M. **Programa computacional dinâmico para simulação de secagem de grãos e sementes de milho**. Revista Brasileira de Produtos Agroindust, v. 13, n. 3, p. 309-318, 2011.
- de MOURA, B. D., et al. **Avaliação de modelos na secagem do resíduo de maracuja em secador rotatório com leito fixo adaptado**. BlucherChemicalEngineeringProceedings 1.2 (2015): 5869-5876.

DOS SANTOS, FRANCISLAINE SUELIA et al. **Cinética de secagem da casca da pitaya vermelha (*hylocereusundatus*)**. congresso técnico científico da engenharia e da agronomia. fortaleza – CE. 2015.

DOYMAZ, I., GÖL, E. (2011). **Convective Drying Characteristics of Eggplant Slices**”. **JournalofFoodProcessEngineering**. 34, 1234–1252.

EMBRAPA (EMPRESA BRASILEIRA DE PESUISA AGROPECUÁRIA). **O papel dos bancos de alimentos na redução do desperdício de alimentos**. Set, 2007.

FERNANDES, A. F. **Efeito da substituição parcial da farinha de trigo por farinha de casca de batata (*SolanumTuberosum Lineu*)**. Ciênc. Tecnol. Aliment., 2008.

FIorentin, L. D.; MENON, B. T.; ALVES, J. A.; BARROS, S. T. D.; PEREIRA, N. C.;

Avaliação da cinética de secagem de frutos de acerola. Revista de Biologia e Ciências da Terra, 6(1): 145– 151, 2006.

GALDINO, C.M. et al. **ESTUDO DA CINÉTICA DE SECAGEM DA CASCA DO CACAU**. XVI Encontro Brasileiro sobre o Ensino de Engenharia Química. Fortaleza – CE, 2016.

GONELI, A. L. D.; NASU, A. K.; SARATH, K. L. L.; GANCEDO, R.; ARAÚJO, W. D. **Cinética de secagem de folhas de erva baleeira (*CordiaverbenaceaDC.*)**. Revista Brasileira de Plantas Medicinai, Campinas, v.16, n.2, p.434-443, 2014.

JERONIMO, C. E. M.; CEZAR, G. M.; OLIVEIRA, G. V.; SANTIAGO JUNIOR, A. F.; MELO, H. N. S. **Caracterização dos resíduos das indústrias Potiguares de beneficiamento de polpa de frutas**. In: VI Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. VI SIBESA. Vitória, ES – Brasil. 2002.

LIMA, S. M.; ROCHA, A. P. T.; ARAÚJO, G. T.; VASCONCELOS, R. F. **Avaliação da cinética de secagem de folhas de braúna**. II Congresso Norte Nordeste de Química. João Pessoa - PB, 2008.

MARTINAZZO, A. P.; MELO, E. C.; RESENDE, O. ; CORRÊA, P. C. **Análise e descrição matemática da cinética de secagem de folhas de capim-limão**. Revista Brasileirade Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande – PB, v.11, p.301-306, 2007.

MELONI, P. L. S. **Desidratação de frutas e hortaliças**. Fortaleza: Instituto Frutal, 2003. 87p.

MÓDENES, A. N. **Determinação da cinética e das isotermas de secagem do bagaço da laranja.** Maringá: Universidade Estadual de Maringá, v. 32, n. 2 p. 147- 152, 2010.

OLIVEIRA, Ana Sílvia Boroni, M.Sc. em Produção Vegetal. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Fevereiro de 2014. **Estudo da secagem de casca de abacaxi visando desenvolvimento de chá a partir do produto seco.**

PACHECO, C. R. F. **Capítulo 1 - Conceitos básicos de secagem.** Curso de especialização em papel e celulose, 2012. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

PAIVA, A. F. D. O. **Geração automática de modelos de simulação de uma linha de produção na indústria têxtil.** 2005. 239p. Dissertação de mestrado. Engenharia industrial, Universidade de Minho. Guimarães.

PARK, K.J; ANTONIO, G. C; OLIVEIRA, R.A; PARK,K.J B. **Seleção de Processos e Equipamentos de secagem.** Faculdade de Engenharia Agrícola. Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Campinas, 2007.

PEIXOTO, Y. P. et al. **Secagem da casca do abacate (persea americana) e a avaliação do comportamento do teor compostos bioativos.** BlucherChemicalEngineeringProceedings, v. 1, n. 1, p. 428-433, 2014.

PELIZER, L. H., PONTIERI, M. H., MORAES, I. O. **Utilização de resíduos agroindustriais em processos biotecnológicos como perspectiva de redução do impacto ambiental.** Journal of Technology Management & Innovation, v.2, n.1, p.118-127, 2007.

PUIG, A. et al. (2012). **Moisture loss kinetics and microstructural changes in eggplant (Solanum melongena L.) during conventional and ultrasonically assisted convective drying.** FoodandBioproductsProcessing, 90, 624–632.

ROCHA, S.A. et al. **Fibras e lipídios em alimentos vegetais oriundos do cultivo orgânico e convencional.** Revista Simbio-Logias, v.1, n.2, p.1-9, 2008.

Rosa, M.F., Souza Filho, MS. M., Figueiredo, M.C.B., Morais, J.P.S., Santaella, S.T., Leitão, R.C. (2011). **Valorização de resíduos da agroindústria.** II Simpósio Internacional sobre Gerenciamento de Resíduos Agropecuários e Agroindustriais – II SIGERA - Foz do Iguaçu, PR.

RUSSO, P. et al. (2013). **The influence of drying air temperature on the physical properties of dried and rehydrated eggplant.** FoodandBioproductsProcessing, 91, 249–256.

SILVA, Carlos Eduardo de Farias. **Avaliação do potencial de uso de resíduos do processamento de frutas na produção de etanol 2G**. 2014. 101 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal Alagoas, Maceió, 2014.

SILVA, CEF, et al. **Avaliação do potencial de uso do bagaço de laranja visando a produção de etanol 2g**. *BlucherChemicalEngineeringProceedings* 1.2 (2015): 1139-1146.

SILVA, I. Q.; OLIVEIRA, B. C. F.; LOPES, A. S.; PENA, R. S. (2009) **Obtenção de barra de cereais adicionada do resíduo industrial de maracujá**. Faculdade de Engenharia de Alimentos, Instituto de tecnologia. UFPA, Belém, Pará. V. 20, n. 2, p. 321-329.

SOBRINHO, IVAN SANTOS BATISTA. **Propriedades nutricionais e funcionais de resíduos de abacaxi, acerola e cajá oriundos da indústria produtora de polpas**. Diss. Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia–UESB. 166f. ITAPETINGA–BA, 2014.

SOUSA, M. S. B.; VIEIRA, L. M.; DA SILVA, M. J. M.; LIMA, A. **Caracterização nutricional e compostos antioxidantes em resíduos de polpas de frutas tropicais**. *Revista Ciência agrotécnica*, v. 35, p. 554-559, 2011.

STHEL, M. S. et al. **Secagem e extração de pectina do albedo da casca de laranja**. *Blucher Chemical Engineering Proceedings*, v. 1, n. 1, p. 445-449, 2014.

STURM, B. et al. (2014). **Influence of process control strategies on drying kinetics, colour and shrinkage of air dried apples**. *Applied Thermal Engineering*, 62, 455-460.