



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

**ESTUDO DA SECAGEM DA BANANA DA TERRA PREVIAMENTE
DESIDRATADA OSMOTICAMENTE.**

**JOÃO PESSOA
2019**

FRANCIKELLY CARNEIRO DA SILVA

**ESTUDO DA SECAGEM DA BANANA DA TERRA PREVIAMENTE
DESIDRATADA OSMOTICAMENTE.**

Trabalho Final de Curso apresentado ao curso de Engenharia Química da Universidade Federal da Paraíba como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Química.

Professor Orientador: Dr. Genaro Zenaide Clericuzi.

JOÃO PESSOA

2019

**Catalogação na publicação
Seção de Catalogação e Classificação**

S586e Silva, Francikelly Carneiro da.
ESTUDO DA SECAGEM DA BANANA DA TERRA PREVIAMENTE
DESIDRATADA OSMOTICAMENTE / Francikelly Carneiro da
Silva. - João Pessoa, 2019.
48 f.

Orientação: Genaro Zenaide Clericuzi.
TCC (Especialização) - UFPB/Tecnologia.

1. banana da terra, °brix, modelos matemáticos. I.
Genaro Zenaide Clericuzi. II. Título.

UFPB/BC

**ESTUDO DA SECAGEM DA BANANA DA TERRA PREVIAMENTE DESIDRATADA
OSMOTICAMENTE.**

Trabalho Final de Curso apresentado ao curso de Engenharia Química da Universidade Federal da Paraíba como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Química.

BANCA EXAMINADORA

**Prof. Dr. Genaro Zenaide Clericuzi DEQ/CT/UFPB
(Orientador)**

**Prof.^a Dr.^a Veruscka Araújo Silva DEQ/CT/UFPB (Co-
Orientador)**

**Dr.^a Clediana Dantas DEQ/CT/UFPB
(Avaliadora)**

**Dr.^a Ana Flávia dos Santos Coelho DEQ/CT/UFPB
(Avaliadora)**

Aprovado em _____, ____ de _____ de _____.
DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho ao meu maior amor, minha família.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, és amor, és a verdade, és a resposta e a vida.

Aos meus pais Maria da Glória e José Antônio por apoiarem meus sonhos mesmo quando pareciam impossíveis.

As minhas irmãs Franciele e Geciele por acreditarem e me apoiarem sempre, eu sou imensamente grata por saber que sempre pude e posso contar com vocês.

Aos meus amigos de longa data Patricia, Diana e Monique que se fizeram presentes na minha vida em todos os momentos, obrigado por toda a vibração e torcida desde o dia que passei no vestibular, tá acabando pessoal.

Um obrigado especial a Paloma por não ser só amiga mas companheira de caminhada, ninguém mais que você conheceu o caminho que percorri até hoje, obrigada por toda força nos piores momentos, pelos ouvidos pra todas as reclamações, obrigada também pelos ótimos momentos, por todas as risadas, lanches, indicações de livros e séries e tantos outros amores compartilhados, te amo minha amiga, essa jornada está acabando e a encerraremos juntas, se Deus quiser.

Ivaldo, a engenharia nos uniu e acho que não há modo de findar esse período sem te agradecer! Você tem sido essencial em muitas as batalhas diárias, entendesse meus sonhos e me apoiasse desde então, espero que possamos permanecer unidos e fiéis ao sentimento que temos. Te amo e obrigada.

Obrigada aos amigos que ganhei durante a graduação e pelos quais tenho um carinho imenso, vocês são muito especiais, em especial Davi, Williane, Daniel e Jannine, vocês muitas vezes foram meu norte quando eu já nem sabia que aguentava mais.

Obrigada a família recém-conquistada, EJC, vocês foram uma surpresa maravilhosa na minha vida.

Obrigada aos meus orientadores Genaro e Veruscka por estarem sempre dispostos a me ajudar e a minha banca Clediana e Ana Flávia por terem aceitado participar e avaliar meu trabalho.

Obrigada de modo geral aos que contribuirão de forma direta e indireta a minha formação.

OBRIGADA!!

RESUMO

Estima-se que a banana é o fruto mais consumido no mundo todo devido a sua versatilidade e facilidade de plantação principalmente. E a banana da terra um dos tipos mais conhecidos, entretanto um grande problema é suas enormes perdas pré e pós colheita, por ser alimento perecível precisa ser consumida o mais fresca possível e em pouco tempo. A banana da terra muito conhecida no Brasil, diferente dos outros tipos, é consumida principalmente assada e cozida, devido a sua grande quantidade de amido que a torna mais propícia para esse tipo de consumo. Portanto, identificar metodologias ou processos para o conservação com maior durabilidade deste fruto, mantendo ainda suas propriedades nutricionais é de notável importância. O processo de secagem é uma das etapas de conservação do material comumente utilizada, por que além de aumentar o tempo de vida útil do alimento na prateleira também ainda preserva os nutrientes do fruto. O presente trabalho buscou estudar a secagem da banana da terra, desidratada osmoticamente em estufa com circulação de ar a 70°C. A banana passou por tratamento osmótico em três diferentes concentrações 30, 40 ou 50 °Brix, em diferentes tempos 30, 60 ou 90 minutos e sob diferentes temperaturas de banho 30, 35 e 40 °C. Após a secagem o produto passou por avaliação de pH, atividade de água e aplicamos os modelos matemáticos de Newton, Page e Fick sob os resultados experimentais. Os resultados obtidos para Page de Newton todos obtiveram um R^2 acima de 0,91, enquanto a difusividade efetiva para o modelo de Fick ficou na faixa da casa decimal de 10^{-10} .

Palavras-chave: banana da terra, °brix, modelos matematicos.

ABSTRACT

It is estimated that banana is the most consumed fruit worldwide because of its versatility and ease of planting mainly. And the banana of the earth is one of the most known types, however a big problem is its huge losses pre- and post-harvest, being perishable food needs to be consumed as freshly as possible in a short time. The banana of the land very well known in Brazil, unlike the other types, is consumed mainly roasted and cooked, due to its large amount of starch that makes it more propitious for this type of consumption. Therefore, identifying methodologies or processes for the conservation with greater durability of this fruit, while still maintaining its nutritional properties is of notable importance. The drying process is one of the stages of conservation of the material commonly used, because in addition to increasing the shelf life of the food also also preserves the nutrients of the fruit. The present study aimed to study the drying of the banana from the soil, osmotically dehydrated in a greenhouse with air circulation at 70°C. The banana underwent osmotic treatment at three different concentrations 30, 40 or 50 ° Brix, at different times 30, 60 or 90 minutes and under different bath temperatures 30, 35 and 40 °C. After drying the product underwent evaluation of pH, Brix, shrinkage, water activity and applied the mathematical models of Newton, Page and Fick under the experimental results. The results obtained for Page of Newton all obtained an R^2 above 0.91, while the effective diffusivity for the Fick model was in the range of 10^{-10} .

Keywords: banana, °brix, mathematical models

Sumário

1.INTRODUÇÃO.....	9
2.OBJETIVOS.....	10
2.1Objetivo geral.....	10
2.2Objetivos específicos.....	10
3.REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	11
3.1 Banana.....	11
3.2Tipos.....	11
3.3Propriedades.....	12
3.4Secagem.....	13
3.5Cinética de secagem e modelagem matemática.....	15
3.6Desidratação osmótica.....	16
3.7 Sorbitol.....	17
3.8Conservação da banana.....	18
3.9Atividade de água.....	19
3.10Planejamento experimental.....	20
4.MATERIAIS E MÉTODOS.....	22
4.1METODOLOGIA.....	22
4.2 Processamento.....	23
4.3 Branqueamento.....	23
4.4 Solução concentrada de sorbitol.....	24
4.5 Desidratação osmótica.....	24
4.6 Secagem.....	24
4.7 Cinética de secagem.....	25
4.8 Encolhimento.....	26
4.9 Atividade de água.....	26
4.10 Armazenamento.....	28
5.RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	29
5.1 Aplicação do modelo matemático.....	33
5.2 Atividade de água.....	40
6.CONCLUSÃO.....	42
7.REFERÊNCIAS.....	43
APÊNDICE.....	47

1. INTRODUÇÃO

Não se sabe ao certo a origem da banana, sua descendência remonta o tempo grego, entretanto o cultivo e consumo de banana se espalhou de tal modo que hoje em dia é a fruta mais consumida no país. Suas variações para o consumo chamam a atenção também, podendo ser consumida in natura, em forma de farinha, compota, doce, purê, passas, etc, inovações com ela não faltam. O motivo do seu sucesso pode ser atribuído a facilidade de cultivo e ampla apreciação (SEBRAE, 2008).

Apesar de sua popularidade, onde estima-se que o consumo per capita anual de bananas seja em torno de 20kg/habitante, a bananicultura nacional ainda sofre com sérios problemas na produção e pós-colheita, onde só na fase de pós-colheita chega a perder 40% de sua produção (EMBRAPA, 2000).

Além das perdas pós-colheita, outro problema da banana tal qual a maiorias das frutas frescas é seu curto tempo útil de vida, sendo uma opção a aplicação de tratamentos e/ou processamentos como a desidratação e a secagem (SILVA et al., 2017).

A desidratação é um dos métodos de conservação mais antigos conhecidos, é uma forma simples e natural, que consegue conservar frutos, legumes, carnes, ervas, etc. Uma das suas principais vantagens é o baixo custo e que o valor nutritivo os produtos é preservado (FOODS INGREDIENTS BRASIL, 2016). A desidratação osmótica é uma variação da desidratação convencional, consiste na imersão do alimento em uma solução concentrada de sacarose ou similar para a perda de sólidos e ganho de massa, na solução de açúcar é possível adicionar outras substâncias as quais queira-se agregar valor nutricional ao produto ou preservar suas características (CELESTINO, 2010).

A secagem por sua vez, segundo Celestino (2010) é uma operação onde existe a remoção de água ou qualquer outro líquido e alguma de suas vantagens é o aumento da vida útil do produto, é uma operação econômica e por sua vez facilita o transporte e armazenamento de tal produto.

A utilização da secagem com a prévia desidratação nas bananas é um estudo para a busca do aumento do tempo de vida útil do produto e a permanência de suas características

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Secagem da banana da terra em estufa com circulação de ar previamente desidratada por desidratação osmótica.

2.2 Objetivos específicos

- Obtenção das curvas de cinética secagem;
- Ajuste de modelos matemáticos aos dados experimentais;
- Caracterização físico-química: Umidade e atividade de água.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Banana

Estima-se que a banana seja a fruta com maior consumo no Brasil e no mundo, devido a isso tem uma grande relevância econômica nos países tropicais, além de ser muito apreciada pelo sabor, estima-se que sejam produzidos no Brasil cerca de sete toneladas de banana em uma área de 489.937 hectares. A sua importância pode ser ligada ao fato de ser um fruto nutritivo e acessível à maior parte da população, além da facilidade de cultivo e proliferação, um problema entretanto é que entre perdas pré e pós-colheitas apenas cerca de 50% dos produtos realmente chegam até a população (ANDRADE, 2018).

A banana provém das bananeiras que não são árvores, são consideradas ervas gigantes, conseguem atingir 7,5 metros, que dão origem a raízes subterrâneas e pseudocaules que emergem do solo em forma de bainhas e folhas, os cachos dela dão origem a abundantes frutos que tem formas alongadas, seu nome inclusive provém do árabe “banan” que equivale a dedo, remetendo a seu formato, suas espécies mais comuns nascem com uma coloração esverdeada, nesse estágio a banana ainda não é própria para consumo in natura e é basicamente constituída de água e amido, conforme amadurece adquire cor amarela, vermelha ou com pintas marrons, e o amido se transforma em açúcares mudando sensivelmente o gosto e o valor nutritivo (SEBRAE, 2007).

Além de tudo segundo Fruticultura (2010) é considerada uma grande oportunidade de negócios, pois:

- É um produto muito consumido no país;
- Tem possibilidade de crescimento no mercado externo;
- É considerado um produto que gera renda regular, independente do nível tecnológico empregado;
- É uma área muito desenvolvida tecnicamente, onde manejo e produção são de fácil conhecimento;
- Tem apoio governamental devido ao reconhecimento da sua importância social e econômica;
- É possível de ser produzida em praticamente todos os estados brasileiros.

3.2 Tipos

Segundo o Sebrae (2007) as tipologias mais comuns de banana disponíveis no mercado com maior consumo são as Prata, Maça e Ouro, seguidas das Prata-anã, Pacovan, Branca e Banana da Terra que é a que será utilizada no presente trabalho.

A banana da terra, da qual trataremos no presente trabalho, tem nome científico *Musa sapientum* dentre as espécies de banana é maior, chegando a pesar 500g e ter comprimento de até 30 cm, é achataada de um de seus lados, tem casca amarela escura, sua polpa é bem consistente, textura compacta, é mais rica em amido que açúcar, o que a torna propicia a assar, cozinhar ou fritar, sendo sua principal forma de consumo ao invés de in natura como os demais tipos de banana. É principalmente encontrada nas regiões Norte e Nordeste (PONTES, 2009).

3.3 Propriedades

Dentre as principais propriedades químicas das bananas estão os carboidratos, amido, vitaminas A, B e C, potássio, etc. O quadro 1 mostra essas propriedades e seus valores quantitativos nos principais tipos de bananas.

Quadro 1 - Propriedades dos principais tipos de bananas.

Parâmetros	Na forma in natura					
	Banana terra	Banana maçã	Banana nanica	Banana ouro	Banana pacovan	Banana prata
Umidade (%)	63,9	75,2	73,8	68,2	77,7	71,9
Energia (Kcal)	128	87	92	112	78	98
Proteína (g)	1,4	1,8	1,4	1,5	1,2	1,3
Lipídeo (g)	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1
Carboidrato (g)	33,7	22,3	23,8	29,3	20,3	26,0
Fibra alimentar (g)	1,5	2,6	1,9	2,0	2,0	2,0
Cinzas (g)	0,8	0,6	0,8	0,8	0,8	0,7
Cálcio (mg)	*	3	3	3	5	8

Fonte: BEZERRA, 2011.

Além disso, a banana tem alto poder alimentício, considerada como facilmente assimilável. Possui valor energético de 318kcal/100g, para se ter uma noção 125g por dia bastam para cobrir um quarto da necessidade alimentícia de um menino de 10 anos (PONTES, 2009).

Biologicamente falando a banana, independente do tipo, apresenta uma das maiores perdas na produção do país devido ao elevado conteúdo de água presente em seu material, sendo assim muito perecível, tendo um tempo de vida curto, além de ter a problemática de não ser inútil utilizar o armazenamento a frio devido ao escurecimento da casca. Tais fatos sugerem a necessidade de buscar

novas alternativas inclusive os processos de industrialização para aumentar o tempo de vida e perdas em geral (SANT'ANA SILVA, 2009).

Duas alternativas empregadas não só nos processos com banana, mas com frutas e vegetais no geral, é a desidratação osmótica seguida de secagem.

3.4 Secagem

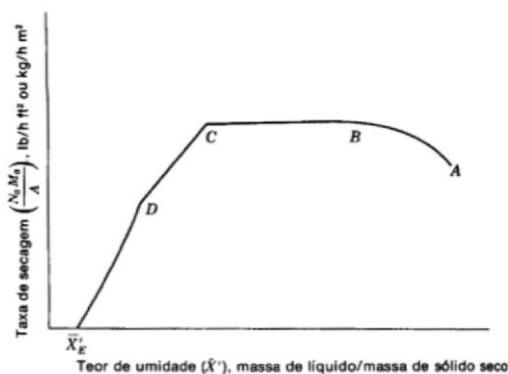
Segundo Sant'Ana Silva (2009) as operações de desidratação e/ou secagem são importantes nas industriais de processos químicos e alimentícios e seu objetivo básico é a de remover parcial ou totalmente a água, de modo iniba ou diminua o crescimento microbiano.

Secagem é uma operação unitária que constitui um processo muito conhecido e complexo, que envolve transferência de calor e massa simultaneamente. Ao longo do processo a água evapora devido ao calor e o vapor d'água é removido pelo ar, deste modo diminuindo a umidade e a atividade de água do produto, que são dois fatores muito importantes na conservação e tempo de vida útil dos produtos (PEREZ et al., 2003).

Segundo Coelho (2010) atualmente são conhecidos três tipos de transferência de calor e massa a pôr condução, convecção e radiação, e estes são governados por fatores internos (constituição do material) e externo (meio de secagem).

O processo de secagem, Figura 1, ficou conhecido pelas etapas básicas: O período de taxa de evaporação constante e o outro período de taxa de evaporação decrescente. Há ainda quem descreva uma etapa anterior a essa que seria a de indução ou adaptação e a etapa posterior que seria a do produto seco (MICHALEWICZ, 2011).

Figura 1 – Esquema do processo de secagem.



Fonte: FOUST (1982)

Perez (2015) explica a respeito da Figura 2, primeiramente ela deve ser compreendida da direita para esquerda, seguindo:

O segmento AB é onde a temperatura do sólido a ser seco e o fluido secante entram em equilíbrio (adaptação).

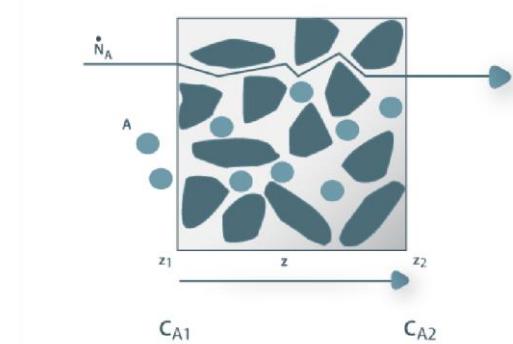
O segmento BC é o período de secagem em taxa constante, quando na superfície do produto existe uma película de água que é a umidade interna migrando para a superfície e que conforme o ar passa vai sendo retirada e o processo de transferência de massa acontecendo, simultaneamente a transferência de calor ocorre até que não haja condições de suprir a película e ainda onde a temperatura interna do produto se equivale a temperatura do bulbo úmido, assim sendo deixando constante a taxa de secagem.

O ponto C representa um ponto crítico no processo, é onde ocorre o fim do período de secagem a taxa constante, como também a temperatura da superfície aumenta por não existir mais água e assim ocorre a queda na taxa de secagem.

A partir do ponto C que é o crítico e divisor de águas, no segmento CD surgiram as primeiras áreas secas e a temperatura será elevada. A forma como a umidade irá ser transferida dependerá da estrutura física do produto e nota-se que a taxa de secagem decai gradativamente.

Nota-se que no período de taxa de secagem constante a operações funciona como se estivesse sendo seco uma fina cama de água e logo sua forma estrutural não influêncie e já no período decrescendo isso estará diretamente ligado.

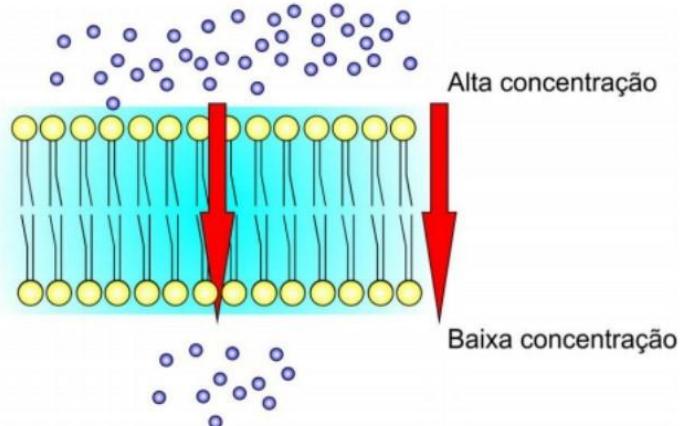
Os mecanismos utilizados no processo de secagem são dois: Por capilaridade e/ou por difusão. Capilaridade é um fenômeno de atração ou repulsão onde é perceptível o contato sólido líquido, isso se transcreve no processo de secagem em materiais que possuem canais por onde é possível circular fluidos, são geralmente sólidos granulados, cristalinos e inorgânicos. Devido aos canais a transferência de massa é favorecida e consequentemente a secagem ocorre com uma maior facilidade (PARANHOS, 2009; PEREZ 2015). A Figura 2 representa o fenômeno da capilaridade. Figura 2 – Fenômeno da Capilaridade



Fonte: Portal de laboratórios de processos químicos.

A difusão é um fenômeno onde existe o transporte de matéria devido ao movimento das moléculas de um fluido e estes movimentos fazem com que o soluto passe de zonas de mais elevada concentração para zonas de concentração mais baixa e a secagem nesse processo é dificultada e exige-se um tempo maior (EGEA e LOBATO, 2014). Pode-se observar na Figura 3, o processo de difusão.

Figura 3 – Processo de difusão.



Fonte: Toda Materia (2019)

3.5 Cinética de secagem e modelagem matemática

A cinética de secagem é a representação do tempo de secagem versus a perda de massa do processo, pode ser acompanhada por períodos intervalados de tempo durante a secagem.

A modelagem matemática da cinética de secagem por sua vez é o emprego de modelos matemáticos para representar um processo que é de fundamental importância, visto que com essas informações geradas pode-se desenvolver equipamentos e predição de tempos processuais, e com os processos de secagem não seria diferente. Na literatura, existem diversos modelos que descrevem o comportamento dos produtos durante o processo de secagem (SILVA, et al., 2016).

Os modelos de secagem, de acordo com as equações empregadas, podem ser divididos em modelos empíricos, modelos semi-teóricos e modelos teóricos, segundo Beke et al (1997). Dois dos modelos empíricos são os de Newton e o de Page.

O modelo de Newton foi proposto por Lewis em 1921 e recebe esse por ser análogo a lei de resfriamento de Newton, chamada também de lei exponencial, que é uma simplificação da solução da equação da difusão de uma placa e assume que a taxa de secagem é proporcional a diferença entre o conteúdo de umidade médio em um determinado tempo e o conteúdo de umidade do material em estado de equilíbrio (BARBOSA, LOBATO, 2016; MENDONÇA, 2015).

Sua equação matemática é dada pela equação 1 por:

$$U - U^e \quad (1)$$

$$RU = \frac{U - U_e}{U_0 - U_e} = e^{-kt}$$

Onde: RU- Razão de umidade adimensional, U- Umidade no tempo t, U_e – Umidade de equilíbrio, k- Constante de secagem, t- Tempo.

O modelo de Page (1949) é uma adaptação do modelo de Newton, para que possamos obter um método mais preciso na descrição de mudanças nos dados, especialmente no início da secagem. A adaptação refere-se a adição de um expoente n na parcela do tempo (t).

Sua fórmula matemática é dada pela equação 2 por:

$$RU = \frac{U - U_e}{U_0 - U_e} = e^{-x p(-kt)} \quad (2)$$

Onde: RU- Razão de umidade adimensional, U- Umidade no tempo t, U_e – Umidade de equilíbrio, k- Constante de secagem, t- Tempo, n- Termo de correção.

A constante (k) encontrada no modelo de Newton e no de Page é utilizada como forma de aproximação para se caracterizar o efeito a temperatura, está relacionada a difusividade efetiva no período em que a secagem apresenta taxa decrescente e a difusão líquida controla o processo. Um maior valor de k nos diz que o teor de água de equilíbrio foi alcançado em menor tempo (MENDONÇA, 2015).

Mendonça (2015) fala ainda a respeito de outras constantes como (n) encontrado no modelo de Page. O parâmetro (n) possui efeito moderativo do tempo e faz correções de prováveis erros resultantes da negligência da resistência interna para a transferência de água.

O outro modelo utilizado no presente trabalho é o modelo da difusão que é um modelo teórico derivado da lei de Fick e está entre os mas estudados.

Segundo Oliveira et al. (2006) teoria difusional apoia-se exclusivamente sobre a lei de Fick, e esta mostra que o fluxo de massa por unidade de área é proporcional ao gradiente de concentração a água.

A lei de Fick é expressa genericamente pela equação 3.

$$RU = \frac{U_i - U_{e_e}}{U_i - U_{e_e}} = \frac{1}{2} \sum [\dots] \quad (3)$$

Onde: RU- Razão de umidade adimensional;

U - Umidade do produto no tempo (t);

U_i - Umidade inicial;

U_e – Umidade de equilíbrio;

D_{ef} – Difusividade efetiva;

L - Espessura;

t - Tempo.

Tal equação é válida para corpos semi-infinitos, placas, cilindros e esferas e será utilizada em três termos.

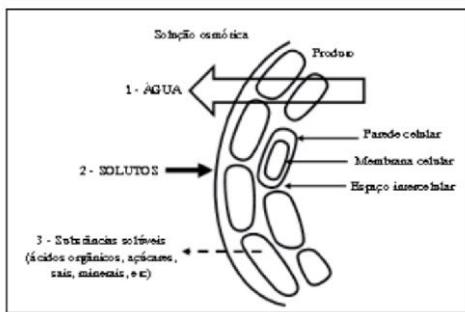
Na literatura pode ser encontrada em trabalhos como os de Oliveira (2006) no estudo da determinação da difusividade efetiva de raiz de chicória em planos finitos.

3.6 Desidratação osmótica

Segundo Egea e Lobato (2014) osmose em si é o movimento do solvente, no nosso caso a água, entre meios de soluções em diferentes concentrações. O que basicamente já define o que seria desidratação osmótica.

A desidratação osmótica técnica também conhecida como de impregnação ou saturação, é a passagem da água da fruta para a solução hipertônica e do soluto da solução hipertônica para a fruta, sendo que a passagem de solução da fruta para a solução hipertônica seria bem maior do que a passagem de soluto e isso ocorre devido as altas pressões osmóticas encontradas nas soluções hipertônicas (EGEA e LOBATO, 2014; MAEDA et al, 1998). A Figura 4 mostra como esse processo ocorre.

Figura 4- Processo de desidratação osmótica.



Fonte: EGEA e LOBATO, 2014.

É possível perceber facilmente os autores Egea e Lobato (2014) e Maeda (1998) tinham falado anteriormente, devido à alta pressão osmótica na solução hipertônica a água irá se deslocar do interior da fruta para o meio e o soluto da solução hipertônica tentará se introduzir na fruta, sendo que, muitas vezes existem a passagem de outras substâncias de um meio para o outro em concentrações um pouco menores como os ácidos, orgânicos, açúcares, minerais, etc.

Esse processo tem muitas vantagens, como: Acessibilidade, permanência de suas características naturais como cor, textura e sabor por exemplo, além de ser economicamente viável. O que influência na eficácia desse processo é o tipo de material trabalhado, da natureza do produto, temperatura, tempo de imersão na solução concentrada de sacarose, pH entre outras (MAEDA et al, 1998).

Outras vantagens ainda citadas na literatura são o baixo custo energético do processo, o aumento da estabilidade dos pigmentos, redução de gastos no processamento final e segundo Gomes (2007) a desidratação osmótica promove uma possibilidade de transporte e manuseio mais barato além de promover produtos com boa qualidade de armazenamento e como dito por Souza (2002) esse tipo de desidratação é um método alternativo para reduzir perdas na pós colheita, sendo de baixo custo energético e podendo se adequar a qualquer quantidade de produção.

Já Celestino (2010) disse também que se pode adicionar qualquer outro tipo de soluto na solução de desidratante para que promova meios de conservação ou adição nutricional a fruta, esses solutos podem ser: ácido ascórbico, bisulfito de sódio, ácido cítrico, etc.

Em um país com grande produção de frutas mas ainda pouco explorado o mercado de frutas secas e onde existe grande acessibilidade ao açúcar comercial devido a produção de cana-de-açúcar, a desidratação osmótica é um meio muitíssimo promissor para o mercado comercial de alimentos que precisem de conservação através da diminuição da atividade de água (SOUZA, 2002).

No presente trabalho, no entanto, utilizará o Sorbitol como meio desidratante na solução hipertônica como fonte alternativa mais saudável e de possível ingestão para diabéticos.

3.7 Sorbitol

O Sorbitol pode ser obtido através de redução da D-glicose, é um poliol solúvel em água, cristalino e de sabor doce com aproximadamente 60% do poder adoçante da sacarose e possui 1/3 a menos de calorias, é naturalmente encontrado em muitas frutas como peras, maçãs, ameixas, etc. Entre suas principais características está o fato de ser capaz de produzir soluções viscosas e de grande aplicabilidade na indústria de alimentos, farmacêutica e estética. Tem função plastificante e promove o aumento da flexibilidade (VASQUES, 2007; JONAS e SILVEIRA, 2004).

Outras qualidades do Sorbitol é que essa substância não é cariogênica por sua resistência ao metabolismo das bactérias orais, estando inclusive presente em cremes dentais e são excelentes substitutos para o açúcar em alimentos dietéticos ou para diabéticos, pode ser usado ainda para a síntese de Sorbose e Propileno Glicol (JONAS, 2004).

Aqui o utilizaremos como fonte desidratante na solução hipertônica da desidratação osmótica como substituto da sacarose comercial.

3.8 Conservação da banana: escurecimento enzimático.

Como Celestino (2010) havia dito é possível que durante o processo de desidratação osmótica é possível que sejam adicionados outros componentes para que haja uma impregnação de outras características no produto. Com a banana isso é muito necessário devido ao escurecimento enzimático que a mesma possui, além da impossibilidade de conservação a frio que é ineficaz com esse produto.

A banana escurece em pouco tempo após o descascamento e corte o que põe em cheque a vida útil em prateleira, isso se deve a elevada atividade das enzimas polifenoloxidase e peroxidase. O processo ocorre quando os fenóis encontrados na polpa da banana são oxidados pelas polifenoloxidases dando origem a quinonas que se proliferam e formam compostos de coloração escura que se chamam melaninas. Já as peroxidases agem na desestruturação das membranas celulares diminuindo a sua permeabilidade seletiva e possuem reações em cadeia que formam radicais livres que causam danos a organelas e membranas e assim alteram características sensoriais do produto. Tratamentos químicos a base de ácido ascórbico e/ou ácido cítrico, por exemplo, tem sido bem efetivos na prevenção do escurecimento enzimático (MELO e VILAS BOAS, 2005).

O ácido ascórbico apresenta ação redutora nos alimentos, ação antioxidante onde age sequestrando o cobre, grupo prostético da polifenoloxidase, e reduzindo quinonas de volta a fenóis, antes de formarem pigmentos escuros, tem contribuição nutricional a famosa Vitamina C (SANTOS et al., 2012; MELO e VILAS BOAS, 2005).

Outro ácido que pode ser usado com a intenção da prevenção do escurecimento enzimático é o ácido cítrico, muito conhecido inclusive, onde atua no sentido de manter o pH do meio sempre abaixo do que seria bom para a ação catalítica das enzimas (SANTOS et al., 2012).

O processo utilizado no presente trabalho para inibição do escurecimento enzimático foi utilizar um banho em uma solução contendo 1% de ácido cítrico e 0,6% de ácido ascórbico tal sugestão é encontrada em trabalhos como o de Pereira (2007) e Souza e Leão (2012).

3.9 Atividade de água

Nos alimentos em geral a água apresenta-se de duas formas: água ligada e água livre, a água livre pode ser chamada de atividade de água, que seria a água disponível para proliferação de micro-organismos e não devemos confundir, no entanto, atividade de água como umidade elas são diferentes e não necessariamente relacionadas, umidade seria como uma 'água total' presente no alimento enquanto a atividade de água está relacionada a pressão de vapor de um alimento em relação a pressão de água pura.

Cada tipo de alimento tem uma quantidade de água (umidade) e um conteúdo de água disponível (atividade de água) como podemos observar abaixo na Quadro 2.

Quadro 2- Atividade de água relacionada com diversos tipos de alimentos

Alimento	Conteúdo de água (% b.u)	Atividade de água (A_w)
Chips de batata	1,5	0,08
Leite desidratado	3,5	0,11
Biscoitos	5,0	0,20
Farinha de trigo	14,5	0,72
Marmelada	85	0,86
Pão	40	0,96
Carne fresca	70	0,99

Fonte: Castro (2003) apud celestino (2010)

Os alimentos ricos em água com valores de $A_w > 0,9$ tem fácil contaminação microbiológica, quando estão entre 04 e 08 haverá possibilidade de reações químicas e enzimáticas, ao chegar em $A_w < 0,3$ atinge-se a zona de absorção primária onde as moléculas de água estão tão fortemente ligadas que não podem ser utilizadas para reações com micro-organismos (CELESTINO, 2010). O conteúdo de água de um alimento pode ser expresso de dois modos: base seca e base úmida. Um exemplo bem fácil de como podemos chegar ao conhecimento de ambas é o que Celestino (2010) nos dá.

Segundo Celestino (2010) deseja-se conhecer o conteúdo de água de um alimento. Para isso, utilizou-se o método de estufa com 300,00g do alimento. A massa do alimento seco (massa de sólidos) obtida após um certo tempo na estufa foi de 130,08g (massa obtida após três pesagens com massas praticamente idênticas). Calcule o conteúdo de água em %b.u pela equação (4) e %b.s pela equação (5)

$$\%b.u = (\text{massa de água}/\text{massa da amostra}) * 100 \quad (4)$$

$$\%b.u = ((300,00 - 130,08)/300,00) * 100 = 56,6\% \text{ (em 100g de amostra existem 56,6 g de água.)}$$

$$\%b.s = (\text{massa de água}/\text{massa de sólidos}) * 1000 \quad (5)$$

$$\%b.s = ((300,00 - 130,08)/103,08) * 100 = 130,6 \text{ (para cada 100g de sólidos secos existem 130,6 g de água.)}$$

3.10 Planejamento experimental

O planejamento experimental tem propósito de estimar as propriedades de um sistema multicomponente a partir de um número limitado de observações. Para executar um planejamento factorial experimental primeiramente é necessário especificar os fatores que serão as variáveis. As respostas serão observadas através da variação desses fatores através do fator 2^n (MARINHO, 2005).

As variáveis do presente trabalho serão °Brix das soluções de desidratação osmótica, tempo de banho termostático e temperatura do banho, a Tabela 1 mostra como funciona os fatores para o planejamento experimental.

Tabela 1 – Fatores do planejamento fatorial experimental.

Fatores	Limite inferior	Limite superior	Ponto central
1: °Brix	30°B	50°B	40°B
2: Temperatura do banho	30°C	40°C	35°C
3: Tempo de banho	30 minutos	60 minutos	90 minutos

O planejamento aplicado no presente trabalho será o $2^3 + 3$ pontos centrais, onde Marinho (2005) nos mostra uma tabela de como o experimento é feito, a Tabela 2 nos mostra isso.

3

Tabela 2– Planejamento fatorial experimental $2^3 + 3$ pontos centrais.

Ensaio	1	2	3
1	-	-	-
2	+	-	-
3	-	+	-
4	+	+	-
5	-	-	+
6	+	-	+
7	-	+	+
8	+	+	+
9	+/-	+/-	+/-
10	+/-	+/-	+/-
11	+/-	+/-	+/-

4. MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido no Laboratório de Termodinâmica, pertencente ao Departamento de Engenharia Química do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba – Campus I (sede).

A banana da terra, nossa principal matéria prima, foi adquirida no comércio local de João Pessoa no centro da cidade, sua escolha se deu através do grau de maturação visível, bom estado de conservação, sem machucados ou rachaduras, bom tamanho e peso.

4.1 METODOLOGIA

Inicialmente foi feito o planejamento experimental $2^3 + 3$ pontos centrais, onde as variáveis foram o °Brix em 30°B, 40°B e 50°B, tempo de imersão do banho termostático 30, 60 e 90 minutos e temperatura do banho 30, 35 e 40 °C. Tal planejamento se baseou na Tabela 2.

A tabela 3 demonstra como os experimentos serão realizados.

Tabela 3- Planejamento experimental aplicado.

Ensaio	1 (°B)	2(°C)	3 (min)
1	30	30	30
2	50	30	30
3	30	40	30
4	50	40	30
5	30	30	90
6	50	30	90
7	30	40	90
8	50	40	90
9	40	35	60
10	40	35	60
11	40	35	60

4.2 Processamento

Os frutos foram selecionados de acordo com o grau de maturação visível, tamanho e qualidade, obtidos no mercado local no centro da cidade.

Após a obtenção e seleção dos frutos, os mesmos foram levados ao laboratório de Termodinâmica onde deu-se início ao seu processamento.

Os frutos foram primeiramente higienizados com água corrente e secos com papel toalha, em seguida descascados com o auxílio de uma faca de aço inoxidável e fatiados com uma espessura de 2 mm, esta espessura foi verificada com um paquímetro e pesados em balança analítica para garantir que os mesmos estivessem próximo a faixa de 4 gramas.

4.3 Branqueamento

O primeiro processo que as amostras foram submetidas foi ao de branqueamento, que é considerado um pré-tratamento de curto tempo de aplicação, entre seus principais benefícios, o mesmo produz a inativação de enzimas que afetam a qualidade do produto e ajuda na limpeza dos alimentos, o branqueamento pode ser térmico, que é mais popularmente conhecido, ou químico (PAULA, MACHADO e COSTA, 2014).

A solução de branqueamento foi preparada com 1% de ácido cítrico, 0,6% de ácido ascórbico e 98,4% de água destilada onde foram misturados em um bêquer com auxílio de bastão de vidro. Tal solução de branqueamento nessas concentrações são recomendadas pela literatura como no trabalho de Pereira (2007).

Os frutos que estavam na faixa de espessura e peso correto foram submersas na solução de branqueamento por 60 segundos.

4.4 Solução concentrada de sorbitol

A solução de sorbitol foi preparada em três concentrações 30°B, 40°B e 50°B para a realização da desidratação osmótica.

O grau brix é obtido em forma de porcentagem de solução, por exemplo: 1°Brix equivale a 1% de sorbitol ou sacarose em uma solução de 100 mL.

Logo para 30°B é equivalente a 30% de solução, ou seja, 30 gramas em uma solução de 100 mL, 40°B serão necessários 40 gramas e 50°B serão necessários 50 gramas.

Foram preparadas cerca de 100 mL de cada solução, onde as massas previamente calculadas foram pesadas em balança semi analítica e água destilada medida em provetas, a mistura se deu em bêquer com o auxílio de bastão de vidro, após o preparo das soluções, as mesmas passaram por uma leitura no refratômetro de modo que se confirmasse a concentração da solução.

4.5 Desidratação osmótica

Após o processo de branqueamento a próxima etapa do processamento da banana foi a desidratação osmótica. As amostras fatiadas foram submersas nas respectivas soluções desidratantes (30, 40 ou 50°B) e levadas ao banho termostático de acordo com o que o planejamento experimental mostra a 30, 35 ou 40°C, por 30, 60 ou 90 minutos. Após decorrido o prazo da desidratação as amostras foram lavadas com água destilada para retirar o excesso de solução e secas com papel toalha.

4.6 Secagem

As amostras após terminarem o processo de desidratação foram colocadas sob cadinhos de papel-alumínio, tarados e foram levados a estufa com circulação de ar a 70°C, pelo período necessário até que sua massa se tornasse constante.

A temperatura de 70°C foi escolhida por não ser demasiadamente elevada a ponto de danificar o material, mas, ao mesmo tempo, que proporcione um tempo de secagem razoável.

4.7 Cinética de secagem

A cinética de secagem foi realizada de acordo com o processo de secagem. Em intervalos de tempo previamente estabelecidos as amostras eram retiradas da estufa acompanhado dos seus cadinhos e pesadas para aferição de massa, intervalos esses que iniciavam com 5 minutos (2 vezes),

10 minutos (2 vezes), 20 minutos (uma vez), 30 minutos (até a massa estar constante), essa forma de medição foi feita de modo que ao plotarmos os gráficos posteriormente pudéssemos observar o período de adaptação da amostra na estufa, o período constante e o período decrescente.

Os dados experimentais, cinética de secagem, obtidos durante todo o processo de secagem foram ajustados aos modelos matemáticos de Newton, Page e Fick, as equações 6, 7 e 8 respectivamente.

Newton

$$RU = \frac{U - U_e}{U_0 - U_e} = e^{-kt} \quad (6)$$

Onde:

RU - Razão de umidade adimensional;

U - Umidade no tempo t ;

U_0 - Umidade inicial; U_e -

Umidade de equilíbrio; k -

Constante de secagem; t -

Tempo.

Page

$$RU = \frac{U - U_e}{U_0 - U_e}^n = e^{-kt^n} \quad (7)$$

Onde:

RU - Razão de umidade adimensional;

U - Umidade no tempo t ;

U_0 - Umidade inicial; U_e -

Umidade de equilíbrio; k -

Constante de secagem; t -

Tempo, n - Termo de correção.

Fick

$$RU = \frac{U - U_e}{U_i - U_e} = -\frac{1}{2} \sum [(-2i+1) \frac{\pi D_{ef}}{L} t] \quad (8)$$

Onde:

RU- Razão de umidade adimensional;

D_{ef}- Difusividade efetiva;

L- Espessura.

Utilizaremos a equação em três termos.

O ajuste dos modelos matemáticos se deu através do software Statistica 10.0 e os critérios usados para determinação do melhor ajuste foi através dos parâmetros de coeficiente de determinação (R^2), que constitui um grau percentual do ajuste de um modelo matemático aos dados experimentais quanto mais perto de 1 mais o modelo é bem ajustado aos dados e desvios percentuais médios (P).

4.8 Atividade de água

Todas as amostras secas passaram por uma medição de atividade de água no Novasina a 30°C que seria a temperatura média ambiente.

O equipamento Novasina é mostrado na Figura 5 onde foram aferidas as atividades de água.

Figura 5- Novasina, medidor de atividade de água.



O equipamento Novasina conta com uma configuração simples onde pode-se ajustar temperatura que se deseja fazer a leitura, pode importar os dados de leitura para um computador caso estejam conectados, inclusive os gráficos tempo X medição de atividade de água. Sua estrutura conta com dois compartimentos onde enquanto uma amostra se realiza a leitura a outra está sendo mantida estável na temperatura de leitura, temperatura essa que varia de 0-50°C.

O procedimento assim como o equipamento para medição da atividade de água é relativamente simples, previamente há a necessidade de se configurar a temperatura de leitura e esperar até que ocorra a estabilização do equipamento, após estável podem ser colocar as amostras nas capsulas de plástico e levadas ao compartimento, após fechar adequadamente o equipamento pode iniciar-se a leitura. O equipamento informa através de aviso sonoro que a leitura acabou e o resultado é mostrado na tela inicial, acompanhado do tempo de leitura.

4.9 Armazenamento

Após as amostras estarem secas e já terem passado por todos os processos de caracterização, foram colocadas em saquinhos, identificadas e guardadas em pote hermeticamente fechado com sílica para preservação contra umidade.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A figura 6 mostra a aparência da banana após passar por todos os processos e obter massa constante.

Figura 6 – Produto final.



Através do processo de branqueamento e desidratação percebeu-se que a banana da terra preservou sua aparência e cor, mesmo após um período de 15 dias armazenada.

5.1 Cinética de secagem

As Tabelas 4, 5 e 6 que encontram-se no Apêndice mostram os resultados da secagem da banana da terra, são apresentados o tempo de secagem e as razões de umidade. As tabelas foram organizadas de modo que os resultados dos experimentos realizados na mesma temperatura do banho termostato ficassem juntos e cada amostra está numerada de acordo com o planejamento experimental.

As Figuras 7, 8, 9 mostraram as curvas de cinética de secagem, que foram construídas a partir das Tabelas 4, 5 e 6 elas podem ser identificadas de acordo com a Tabela 3 de planejamento experimental, onde RU1 é a razão de umidade para o experimento 1, RU2 é a razão de umidade para o experimento 2, assim sucessivamente. Os gráficos foram agrupados de acordo com a temperatura em que as amostras foram imersas no banho, logo a Figura 9 é baseada na cinética de secagem do

banho a 30°C, Figura 10 é baseada na cinética de secagem do banho a 40°C, Figura 11 é baseada na cinética de secagem do banho a 35°C.

Figura 7 – Cinética de secagem para banho termostato à 40°C

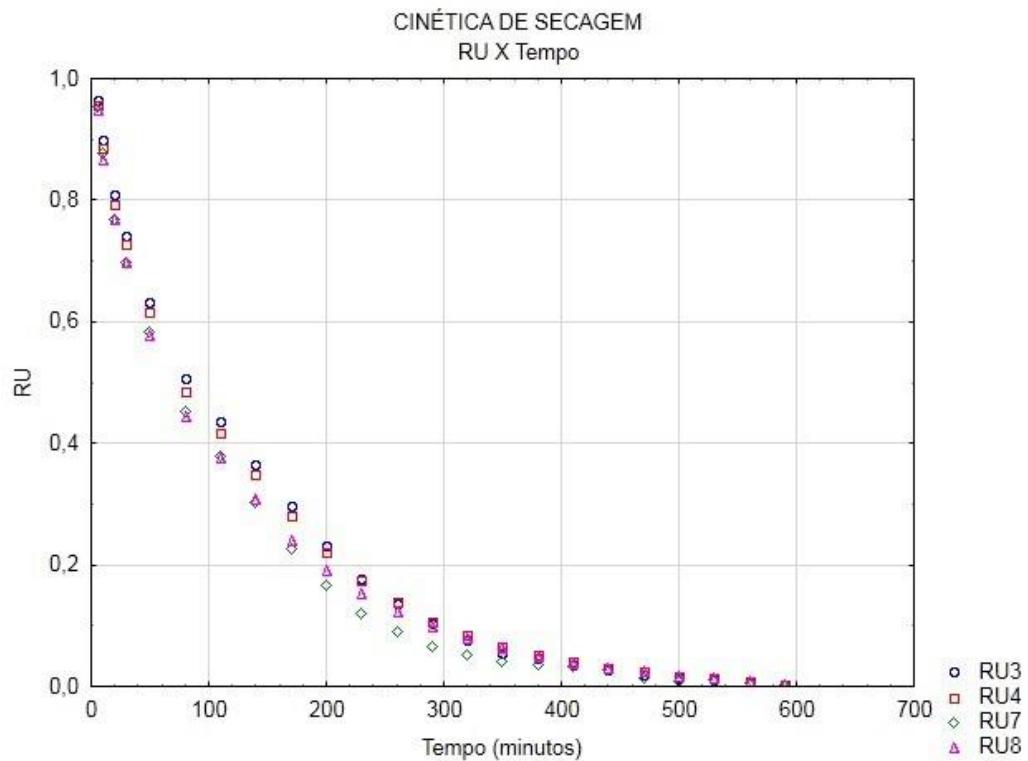


Figura 8 – Cinética de secagem para banho termostato à 30°C

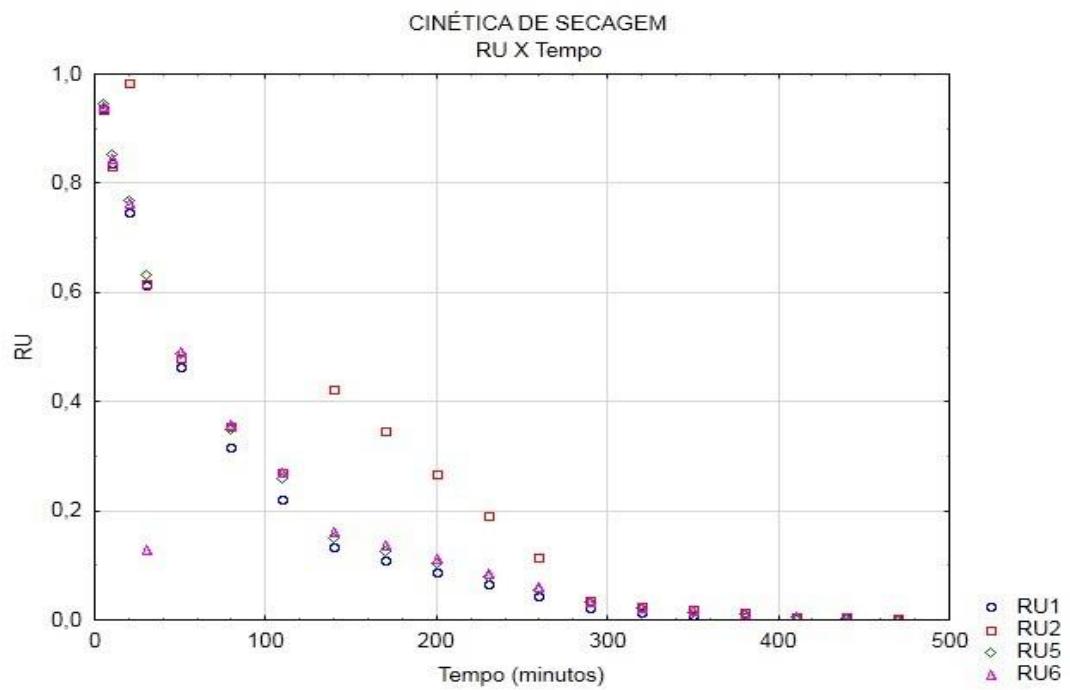
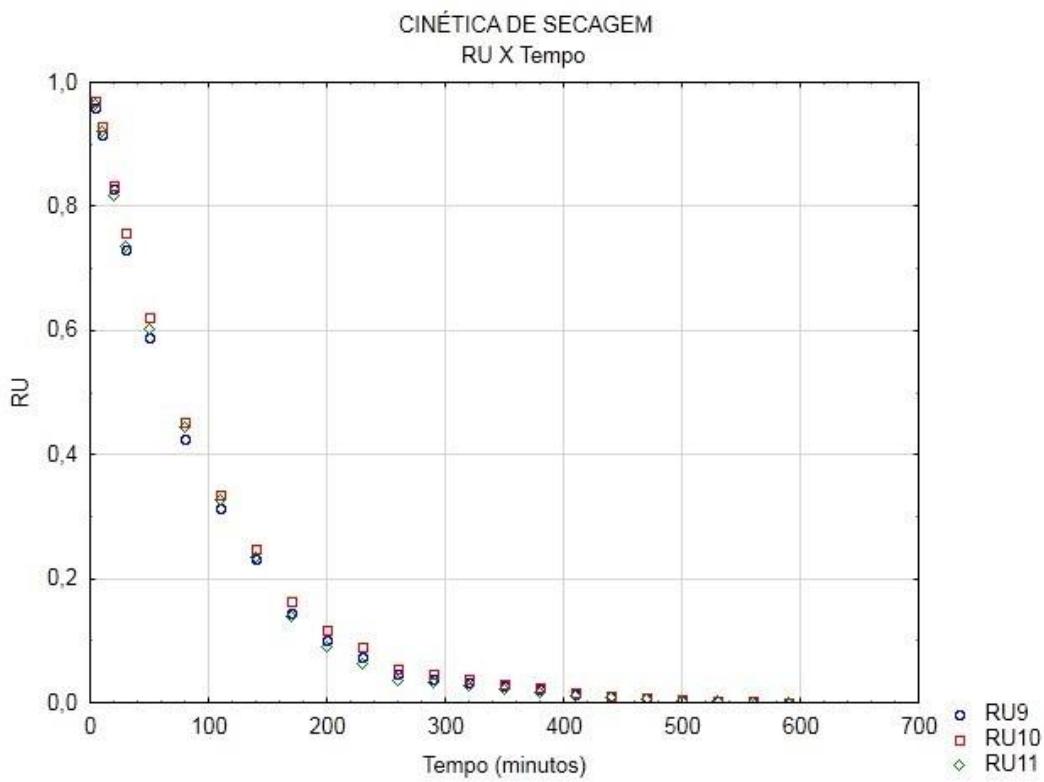


Figura 9– Cinética de secagem para banho termostato à 35°C



Os valores da cinética da banana como é esperado no processo de secagem decaem com o tempo e é fácil perceber que o tempo de secagem na temperatura em que o banho estava a 30°C é inferior aos demais tempos de secagem, Aquino (2013) justifica o fato relatando que a difusão é afetada pela temperatura, em temperaturas mais altas as partículas da solução de desidratação osmótica interagem mais fortemente com o sólido de modo a gerar um maior impedimento para que transferência da água durante a secagem, levando assim um maior período para o mesmo ocorrer.

5.2 Aplicação do modelo matemático

Aplicaremos três modelos matemáticos o de Newton, o de Page e o de Fick, onde o modelo de Newton, geralmente é utilizado para grãos e castanhas, o de Page para legumes e frutos e o de Fick é mais abrangente e para geometrias diferentes.

Os ajuste das curvas da cinética de secagem experimentais com os ajustes matemáticos podem ser vistos a seguir.

Modelo de Newton

Do mesmo modo como vem sendo apresentado as curvas dos gráficos estão dispostas nas três diferentes temperaturas do banho e são identificadas de acordo com o planejamento experimental, sendo que foi adicionado um novo termo que é o RUM que representa as razões de umidade

adimensional calculadas pelos modelos matemáticos e sua serie 1, 2, 3, 4, etc representa o número do experimento a que se refere similar ao RU.

As figuras 10, 11 e 12 apresentam os ajustes das curvas de cinética de secagem da banana da terra ao modelo matemático de Newton.

Figura 10 – Modelo de Newton aplicado a curvas para o banho de 30°C.

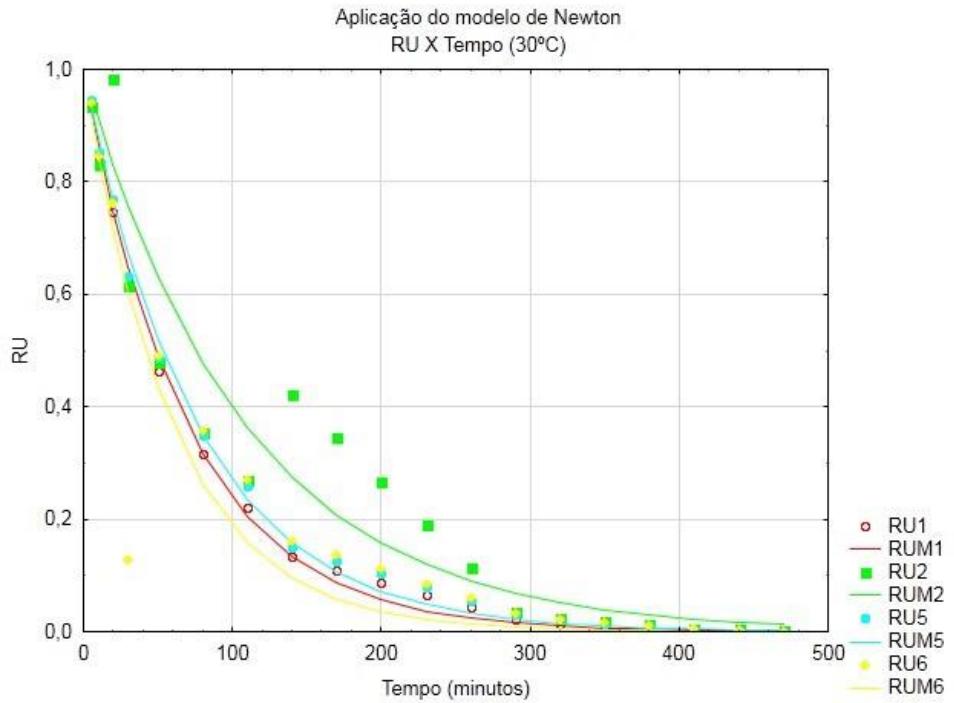


Figura 11 – Modelo de Newton aplicado a curvas para o banho de 40°C.

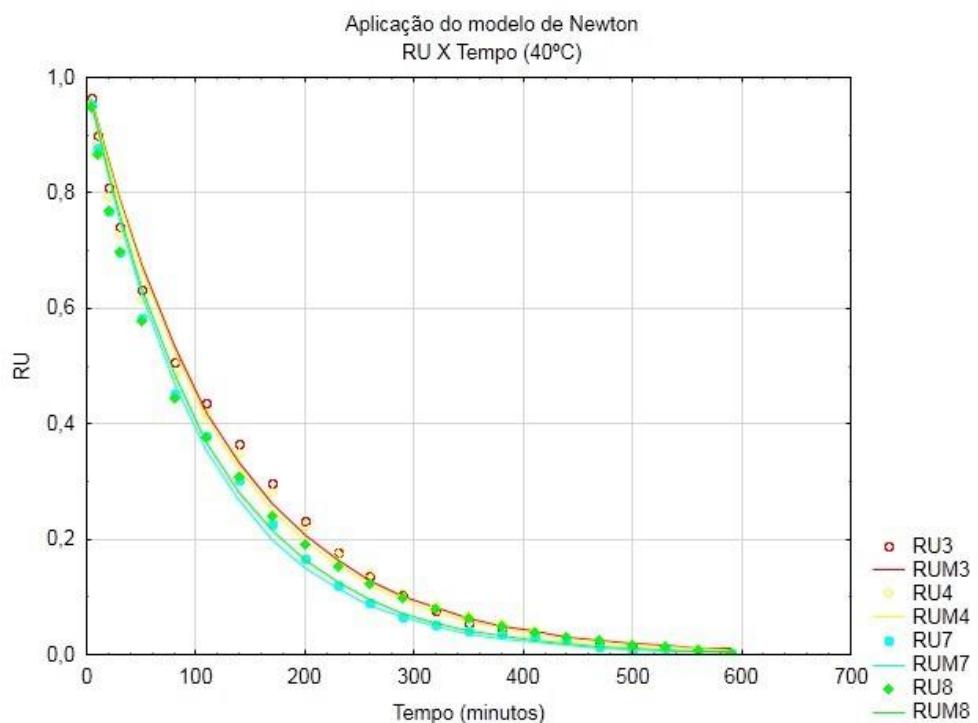
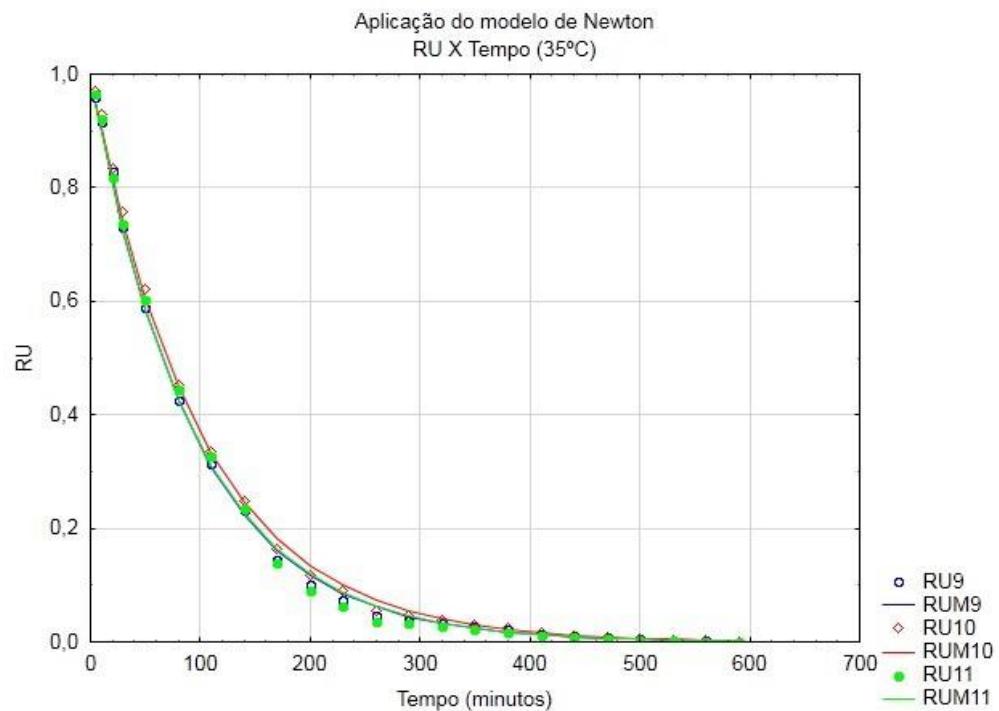


Figura 12– Modelo de Newton aplicado a curvas para o banho de 35°C.



□Modelo matemático de Page

As figuras 13, 14 e 15 apresentam os ajustes das curvas de cinética de secagem da banana da terra ao modelo matemático de Page.

Figura 13– Modelo de Page aplicado a curvas para o banho de 30°C.

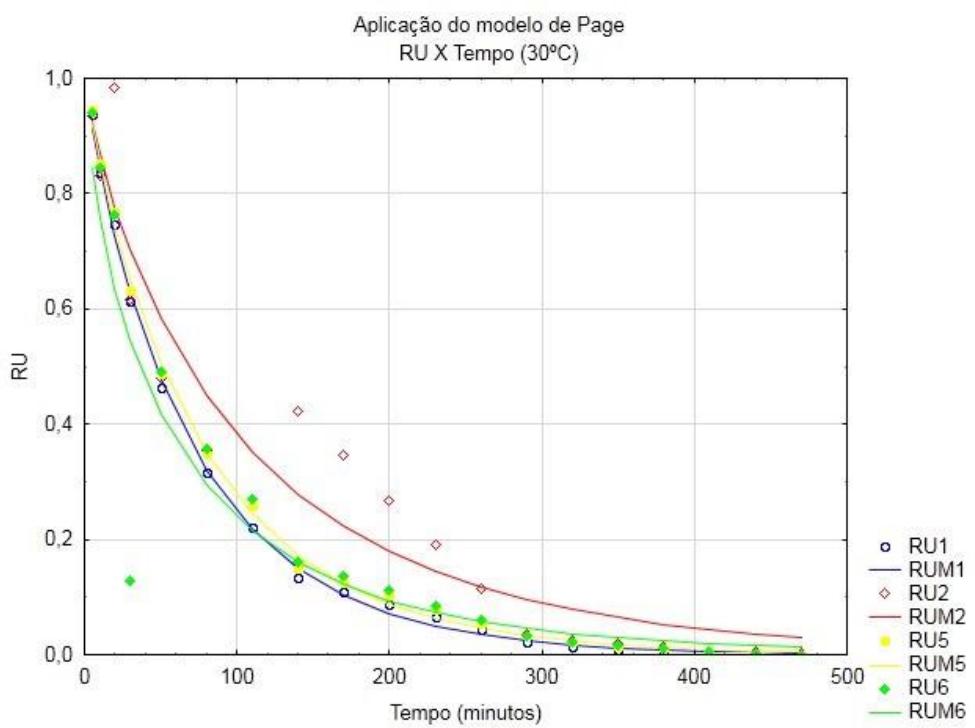


Figura 14 – Modelo de Page aplicado a curvas para o banho de 40°C.

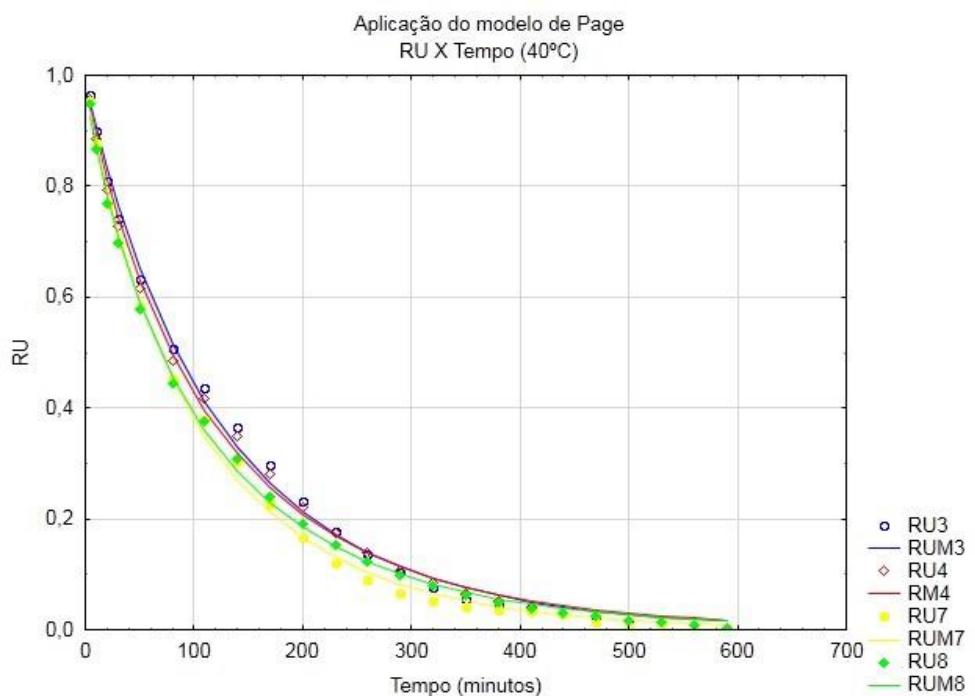
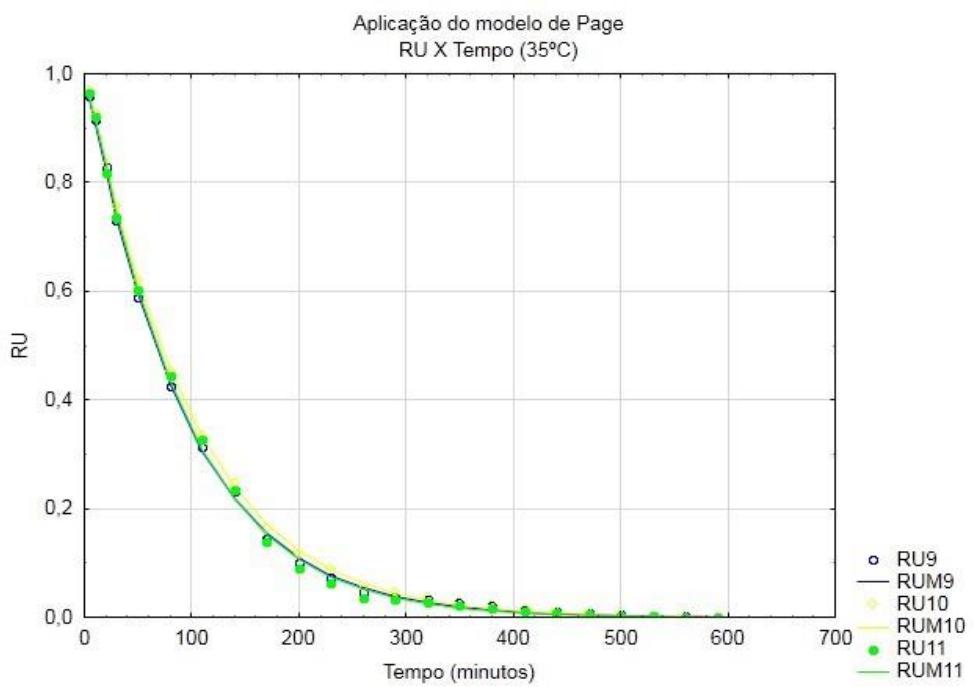


Figura 15– Modelo de Page aplicado a curvas para o banho de 35°C.



□Modelo matemático de Fick

As figuras 16, 17 e 18 apresentam os ajustes das curvas de cinética de secagem da banana da terra ao modelo matemático de Fick.

Figura 16 – Modelo de Fick aplicado a curvas para o banho de 30°C.

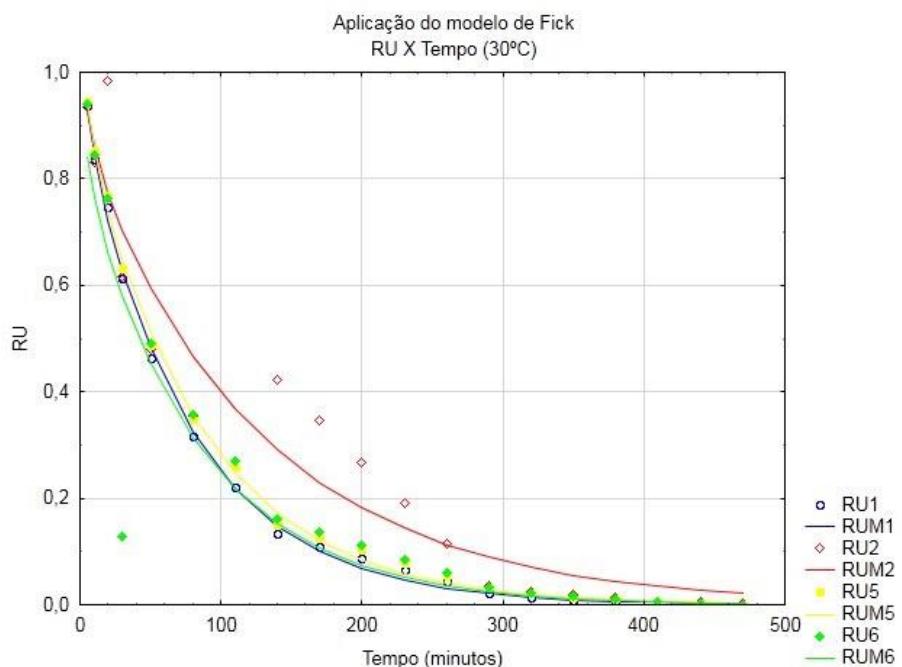


Figura 17– Modelo de Fick aplicado a curvas para o banho de 40°C.

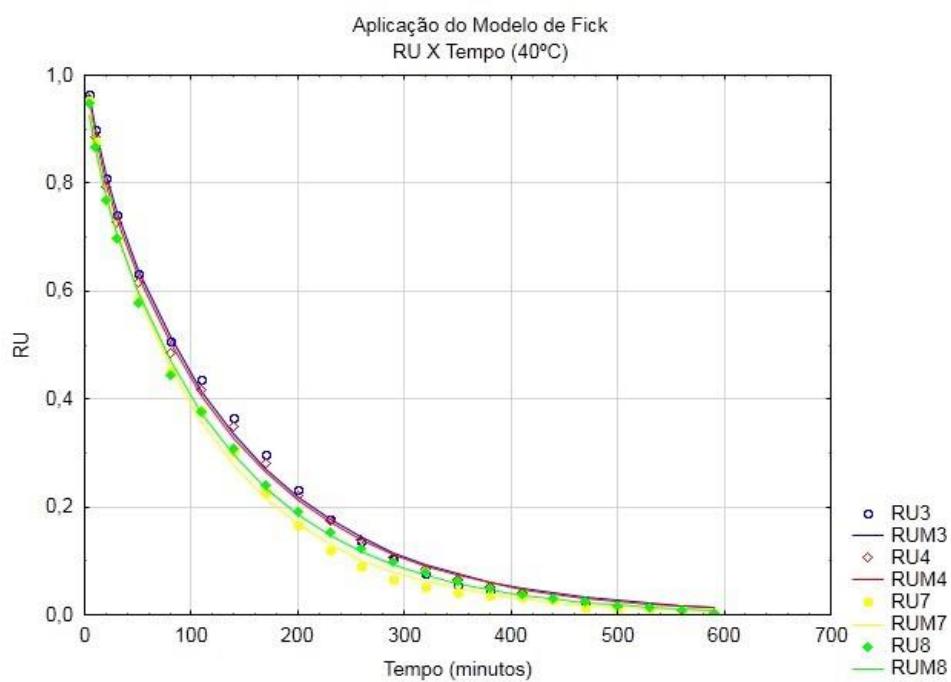
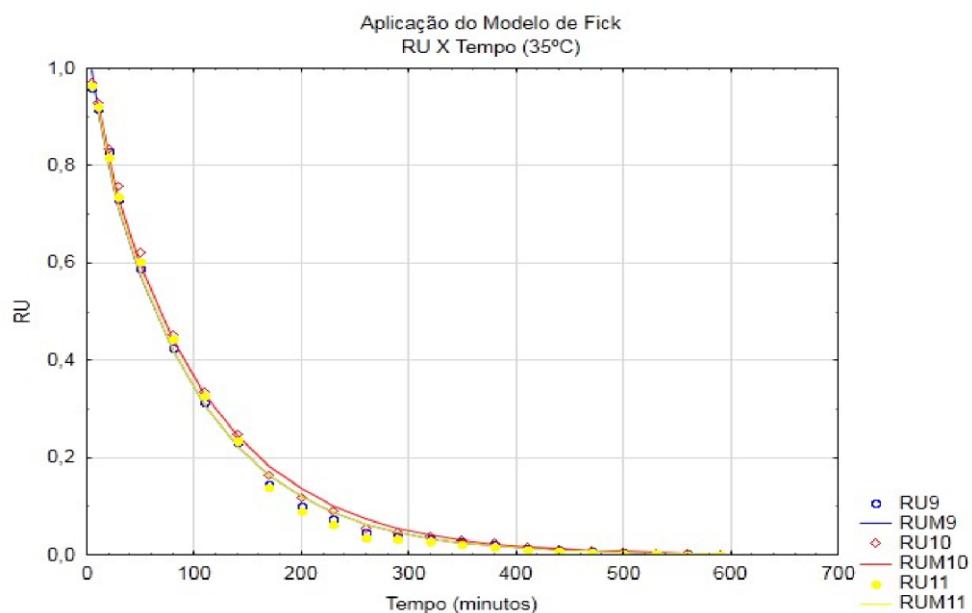


Figura 18 – Modelo de Fick aplicado a curvas para o banho de 35°C.



Em todos os modelos o ajuste da curva se deu de forma mais suave em temperaturas do banho mais elevadas (35 e 40°C), isso pode ser explicado devido a taxa de secagem, aparentemente, ter se dado de modo mais constante do que a secagem para o banho na temperatura mais baixa (30°).

Apresentaremos agora na Tabela 7 apresentará os resultados das coeficientes dos modelos matemáticos encontrados através de regressão não linear pelo Statistica 10.0, os coeficientes de determinação R^2 e os desvios percentuais médios (P).

Tabela 7 – Parâmetros de secagem para os modelos matemáticos.

Parâmetros						
Modelo	Experimento	k	n	D _{ef} (m ² /s)	R ₂	P
Newton	1	0,863800			0,99842674	15,6870649
	2	0,554163			0,95783899	113,290799
	3	0,471851			0,99747485	25,8155706
	4	0,487161			0,99652908	14,7370776
	5	0,789626			0,99809535	20,3450364
	6	1,003940			0,91246764	70,5538677
	7	0,567684			0,99699646	17,3822137
	8	0,543666			0,9945828	21,5272822
	9	0,642638			0,99958173	47,6838387
	10	0,601583			0,99940039	54,8382274
	11	0,639417			0,9990377	37,6643564
Page	1	0,875739	0,917010		0,99932812	39,8680626
	2	0,630027	0,833950		0,96359296	238,509462
	3	0,508334	0,921924		0,99835998	51,4738019
	4	0,543555	0,879943		0,99883968	41,1768405
	5	0,808550	0,915389		0,99907406	37,6815068
	6	0,997373	0,716838		0,93133526	113,432161
	7	0,616593	0,887457		0,99887507	39,0507559
	8	0,617781	0,835251		0,99933087	32,1819677
	9	0,626335	1,048348		0,99980181	34,3914408
	10	0,576753	1,069484		0,99984263	27,0686318
	11	0,611183	1,081554		0,99962581	18,0557383
Fick	1			2,1 x 10 ⁻¹⁰	0,99928031	20,2499275
	2			2,0 x 10 ⁻¹⁰	0,96323603	181,134325
	3			1,012 x 10 ⁻¹⁰	0,99899449	45,8274704
	4			1,013 x 10 ⁻¹⁰	0,99950003	27,1464839
	5			2,13 x 10 ⁻¹⁰	0,99907964	22,7943031
	6			2,135 x 10 ⁻¹⁰	0,92494977	41,4302114
	7			1,02 x 10 ⁻¹⁰	0,99944676	24,0355576
	8			1,018 x 10 ⁻¹⁰	0,99945831	12,8935912
	9			1,026 x 10 ⁻¹⁰	0,99917121	53,3894889
	10			1,024 x 10 ⁻¹⁰	0,99910302	59,55562
	11			1,027 x 10 ⁻¹⁰	0,99863175	42,0381367

Valores de k segundo Silva et al., (2016) está relacionado com a facilidade do produto em perder água, para a secagem da banana os valores do k para o banho à 30°C mostraram maiores resultados o significa uma facilidade dessa perda, já a constante n segundo Pereira (2018) representa

a resistência interna do produto a secagem os valores de n para o banho de 35 e 40°C se mostraram maiores o que condiz com a temperatura.

Já para a D_{ef} os valores variam de $1,0177 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ a $2,13 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ de acordo com o trabalho de Silva et al., (2016) para produtos de origem agrícola os valores de difusividade efetiva está entre 10^{-11} a 10^{-9} , Pereira (2018) obteve resultados de $1,90 \times 10^{-9}$ para secagem de Manga $1,88 \times 10^{-10}$ para secagem do Mamão, $2,20 \times 10^{-10}$ para secagem do Melão e $1,91 \times 10^{-10}$ para secagem da Maçã, assim sendo os resultados estando condizentes com a literatura.

Todos os modelos apresentaram bons ajustes aos dados experimentais, mas consideramos que o modelo de Page acabou sendo mais adequado pois mesmo no experimento que diverge um pouco nos resultados que seria o do banho a 30°C ele possuiu um ajuste melhor ajuste com um R^2 acima de 0,93.

5.3 Atividade de água

Os produtos secos também passaram por medições de atividade de água no Novasina a temperatura de 30°C.

A tabela 8 mostra os resultados obtidos.

Tabela 8- Resultados de atividade de água para todos os experimentos.

Ensaio	1 (°B)	2(°C)	3 (min)	aw
1	30	30	30	0,248
2	50	30	30	0,339
3	30	40	30	0,369
4	50	40	30	0,395
5	30	30	90	0,224
6	50	30	90	0,246
7	30	40	90	0,387
8	50	40	90	0,355
9	40	35	60	0,204
10	40	35	60	0,205
11	40	35	60	0,277

Percebe-se que obtiveram-se ótimos resultados para atividade de água, todos estando abaixo de 0,4 o que é uma faixa própria para a não proliferação de micro-organismos e estando de acordo com os trabalhos de Aquino (2013) para secagem da banana prata com aw em média de 0,470, Gonçalves e Blume (2008) para secagem do abacaxi previamente desidratado com média de aw de 0,476 e Moreira et al. (2013) para secagem de manga que obteve aw em uma faixa de 0,4 – 0,5.

6. CONCLUSÃO

Foi possível observar que no geral a banana se comportou de mesmo modo para todos os experimentos, perdendo uma quantidade de massa inicialmente em seguida diminuindo o ritmo até chegar a fase constante, o tempo de secagem para mínimo para obtenção da massa constante da banana foi de 7,8 horas e o tempo máximo dos experimentos foi de 9,8 horas.

As curvas da cinética da secagem foram obtidas e todas com boa representação e a partir delas foi aplicado três modelos matemáticos teóricos aos dados experimentais o modelo de Newton, o de Page e o de Fick, onde o modelo de Newton, geralmente é utilizado para grãos e castanhas, o de Page para legumes e frutos e o de Fick é mais abrangente e para geometrias diferentes. Todos obtiveram bons ajustes as curvas experimentais e onde a maior divergência foi sempre no experimento para o banho de 30°C. Os valores de k e n do modelo de Newton e Page se mostraram de acordo com a literatura, onde o k obteve maior valor no experimento onde existe maior facilidade da água sair e o n maior valor onde existir maior resistência, mas de modo geral os valores se mostraram próximos, já para a difusividade efetiva todos se mostraram os experimentos se mostraram nas faixas encontradas na literatura para produtos agrícolas que são na faixa de 10^{-10} à 10^{-11} .

A caracterização do produto se deu por análises físico-químicas onde:

A atividade de água mostrou estar numa faixa <0,4 que é imprópria a proliferação de microorganismos o que é um excelente resultado para a melhoria da conservação;

□ Esse tema é muito amplo, cabe e sempre caberá novos estudos no intuito de aprimorar conhecimentos, no mais e para futuros trabalhos dá-se a ideia de um estudo do tempo de armazenamento viável dos experimentos aqui realizados, de modo a ter-se uma faixa de validade de produção.

7. REFERÊNCIAS

A DESIDRATAÇÃO NA CONSERVAÇÃO DOS ALIMENTOS. São Paulo: Food Ingredients Brasil, v. 38, 2016.

ANDRADE, Bruna Andina et al. Produção de farinha de banana verde (*musa spp.*) para aplicação em pão de trigo integral. **Brazilian Journal Of Food Technology.** Campinas, p. 1-10. maio 2018.

AQUINO, Bruno Nobre de. **Produção de banana-passa obtida por processos combinados de desidratação osmótica e secagem convectiva.** 2013. 64 f. TCC (Graduação) - Curso de Ciencias Agrarias, Universidade Estadual da Paraiba, Catolé do Rocha, 2013.

BANANAS. 2010: Sebrae, 2008.

BORGES, Soraia Vilela et al. Secagem de bananas prata e d'agua p/ convecção forçada. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 30, n. 3, p.605-613, set. 2010.

CARVALHO, C.R.L.; MANTOVANI, D.M.B.; CARVALHO, P.R.N.; MORAES, R.M.M. Análises químicas de alimentos. Campinas: ITAL, 1990. 121p. Manual técnico.

CELESTINO, Sonia Maria Costa: **PRINCÍPIOS DE SECAGEM DE ALIMENTOS.** Planaltina: Embrapa, 2010.

CORDEIRO, Zilton José Maciel. **Banana.** Brasilia: Embrapa, 200. 142 p. (Frutas do Brasil).

EGEA, Mariana Buranelo; LOBATO, Luciana Pereira. A desidratação osmótica como prétratamento para frutas e hortaliças. **Instituto Adolfo Lutz**, Rio Verde, v. 73, n. 4, p.316-325, out. 2014.

DIAS, J. do S. A.; BARRETO, M. C.. Características físico-químicas de frutos de bananeira resistentes à Sigatoka-negra. In: EMBRAPA. **Aspectos agronomos, fitopatologicos e socieconomicos da sigatoka-negra na cultura da bananeira no Estado do Amapá.** Macapá: Embrapa, 2011. p. 9.

DUARTE, Maria Elita Martins et al. Desidratação osmótica de fatias de jaca. **Ciências Agrarias**, Fortaleza, v. 43, n. 3, p.1-6, jul. 2012.

FIORAVANÇO, João Caetano. Mercado mundial da banana: Produção, comércio e participação brasileira. **Informações Enconomicas.** São Paulo, p. 15-28. out. 2013.

GALDINHO, P.o et al. Produção de Banna-passa obtida por processos combinados de desidratação osmótica e secagem. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, Não use números Romanos ou letras, use somente números Arábicos., 2016, Gramado. **Anais... .** Gramado: Cbcta, 2016. p. 1 – 6.

GOMES, Anna Thais; CEREDA, Marney Pascoli; VILPOUX, Olivier. Desidratação osmótica: uma tecnologia de baixo custo para o desenvolvimento da agricultura familiar. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, Campo Grande, v. 3, n. 3, p.213-228, set. 2007.

GONÇALVES, Alex Augusto; BLUME, Aline Roberta. Efeito da desidratação osmótica como tratamento preliminar na secagem do abacaxi. **Estudos Tecnológicos**, Bela Vista do Sul, v. 4, n. 2, p.124-134, ago. 2008.

GONÇALVES, Jaqueline Quixabeira et al. Secage, da casca e da polpa verde (muda acuminata): propriedades físicas e funcionais da farinha. **Global Science And Technology**, Rio Verde, v. 3, n. 9, p.62-73, dez. 2016. p. 1 – 5.

JONAS, R., SILVEIRA, M. M., 2004, “Sorbitol Can Be Produced Not Only Chemically But Also Biotechnologically”, *Applied Biochemistry and Biotechnology*, v. 118, pp. 321-336.

LUCCAS, Valdecir. **Obtenção de fatias de banana desidratada crocantes através de présecagem a altas temperaturas e curto tempo em leito fluidizado.** 1996. 115 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Faculdade de Engenharia Química, Campinas, 1996. MELO, Anderson Adriano Martins; BOAS, Eduardo Valério de Barros Vilas. Inibição do escurecimento enzimático de banana maça minimamente processada. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 26, n. 1, p.110-116, mar. 2016.

MENDONÇA, Andreza P. et al. Determinação das curvas de secagem das sementes de andiroba em secador solar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 19, p.382-387, jul. 2015.

MOREIRA, Teresinha B. et al. Comportamento das isotermas de adsorção do pó da polpa de manga lioflizada. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 17, n. 10, p.1093-1098, jun. 2013.

OLIVEIRA, Emanuel Neto Alves de et al. Elaboração e caracterização físico-química de banana passa. In: CONGRESSO TÉCNICO CIENTÍFICO DA ENGENHARIA E DA AGRONOMIA, 73., 2016, Foz do Iguaçu. **Anais... .** Foz do Iguaçu: Conteco, 2016. p. 1 – 5.

OLIVEIRA, Silvana Farias de. **Processamento e qualidade de banana da terra (*Musa sapientum*)**. 2009. 86 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Processos de Alimentos, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga, 2009.

PAULA, Márcia Maria Mendonça Xavier; MACHADO, Antônio Vitor; COSTA, Rubenia de Oliveira. Branqueamento de Frutas e Hortalícias: Uma Revisão Bibliográfica. **Revista Brasileira de Agrotecnologia**, Pombal, v. 03, n. 20, p.14-18, abr. 2014.

PARANHOS, Aline; VECHIA, Daniel; BELTRAME, Milton. Capilaridade: Um fenomeno de superficie com aplicações cotidianas. In: ENCONTRO LATINO AMERICANO DE INICIAÇÃO

CIENTIFICA, Não use números Romanos ou letras, use somente números Arábicos., 2009, São José dos Campos.Anais... . São José dos Campos: Epg, 2009. p. 1 – 2.

PEREIRA, Joan Carlos Alves et al. CINÉTICA DE SECAGEM DE DIFERENTES FRUTAS COMUNS EM FEIRAS ORGÂNICAS. In: CONGRESSO TÉCNICO CIENTÍFICO DA ENGENHARIA E DA AGRONOMIA, 75., 2018, Maceio. **Anais...** . Maceio: Conteco, 2018.

PEREIRA, Nádia Rosa.**Estudo da aplicação de microondas na secagem de bananas tratadas osmoticamente.** 2007. 188 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

PEREZ, Bruna de Souza. Obtenção de parâmetros para dimensionamento de um equipamento secador para a produção de cebola roxa desidratada. In: CONGRESSO NACIONAL DE INICIAÇÃO CIENTIFICA, Não use números Romanos ou letras, use somente números Arábicos., 2015, São Paulo.Anais... .São Paulo: Conic, 2015. p. 1 – 11.

PONTES, Silvana Farias de Oliveira et al. Secagem e avaliação sensorial de banana da terra. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 9, n. 2, p.143-148, jun. 2007.

Processo de difusão. Disponível em: <<https://www.todamateria.com.br/>>. Acesso em: 13 abr. 2019.

QUÍMICOS, Laboratório de Processos. **Capilaridade.** Disponível em: <Portal de laboratórios de processos químicos>. Acesso em: 13 abr. 2019.

RODRIGUES, Fernando Morais et al. PRODUÇÃO DE BANANA (*Musa paradisiaca.*) DESIDRATADA OSMOTICAMENTE SEGUIDA POR SECAGEM COM CIRCULAÇÃO DE AR E CARACTERIZAÇÃO FÍSICO QUÍMICA. Enciclopédia Biosfera, Rio de Janeiro, v. 9, n. 16, p.1750-1759, jul. 2013.

SANTOS, João et al. MEtabolismo do Sorbitol e Diabetes. Acta Médica Portuguesa, Lisboa, v. 5, n. 3, p.241-250, mar. 1984.

SANTOS, Valéria et al. Escurecimento enzimático em frutas. In: CONNEPI, Não use números Romanos ou letras, use somente números Arábicos., 2012, Palmas. **Anais...** .Palmas: Connepi, 2012.

SILVA, Rodolfo Benedito da et al. Estudo da cinética de secagem de polpa de carambola. Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial, Dourados, v. 10, n. 2, p.2069-2081, jul. 2016.

SILVA, Adriano Sant'ana et al. Cinética de secagem em camada fina de banana maça em secador de leito fixo. Revista de Biologia e Ciências da Terra, Palmas, v. 9, n. 2, p.107-116, 2009.

SILVA, Renato Costa da et al. Cinética de secaem e caracterização da banana prata e goiaba surubim orgânicas. In: CONIDIS, Não use números Romanos ou letras, use somente números Arábicos., 2017, Campina Grande. Anais... .Campina Grande: Conidis, 2017. p. 1 – 6.

SOUSA, Paulo Henrique Machado de et al. Avaliação de produtos obtidas pela desidratação osmótico de banana seguida de secagem. **Ceppa**. Cutiriba, p. 109-120. jun. 2003.

VASQUES, T.C. Preparação e caracterização de filmes poliméricos a base de amido de milho e polipirrol para aplicação como biomaterial. 2007. 140f. Dissertação (Doutorado em química) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC. 2007.

APÊNDICE

Tabela 4 – Resultados da secagem para banho termostato à 30°C.

Tempo	1	2	5	6
5	0,93747116795974	0,934018903	0,946924829	0,941431452
10	0,837492136716293	0,831540153	0,852209567	0,844455645
20	0,747871671209897	0,984307198	0,768519362	0,761995968
30	0,61417487942965	0,616061345	0,631389522	0,127368952
50	0,46429020759069	0,480948701	0,486605923	0,489364919
80	0,317257286642902	0,353979671	0,348656036	0,357006048
110	0,221178444118264	0,269036438	0,258223235	0,270413306
140	0,132354791360872	0,423111217	0,149794989	0,162046371
170	0,109993709373034	0,345705284	0,126132118	0,13640121
200	0,087632627385196	0,268299352	0,102469248	0,110756048
230	0,065271545397358	0,19089342	0,078806378	0,085110887
260	0,04291046340952	0,113487487	0,055143508	0,059465726
290	0,020549381421682	0,036081555	0,031480638	0,033820565
320	0,013545816733068	0,024787493	0,02118451	0,022832661
350	0,00926819039631	0,017832729	0,01476082	0,016078629
380	0,00620675193961	0,012364025	0,009794989	0,010635081
410	0,002558188299434	0,005706473	0,004510251	0,004989919
440	0,001929125602852	0,00439874	0,003371298	0,003830645
470	0,000796812749004	0,001486061	0,001047836	0,00141129

Tabela 5 - Resultados da secagem para banho termostato à 40°C.

Tempo	3	4	7	8
5	0,963683981	0,957734962	0,95252619	0,94856305
10	0,900436491	0,88669699	0,877381426	0,867565982
20	0,808904409	0,793938774	0,769614994	0,768739003
30	0,740244435	0,726784893	0,696636167	0,6971261
50	0,630903536	0,615526141	0,583344384	0,577829912
80	0,506547359	0,485409107	0,452857711	0,443049853
110	0,436374218	0,417164955	0,377771884	0,375464321
140	0,366201077	0,348920802	0,302686057	0,307878788
170	0,296027935	0,280676649	0,22760023	0,240293255
200	0,230859887	0,220830991	0,166423551	0,19085044
230	0,177564382	0,173301988	0,119656986	0,151671554
260	0,137145351	0,137885215	0,089775892	0,123049853
290	0,102706242	0,107068023	0,066613623	0,097829912
320	0,076909646	0,083507947	0,05078902	0,078240469
350	0,055521606	0,066438391	0,039738319	0,063343109
380	0,045264077	0,050953135	0,034433983	0,04914956
410	0,034919249	0,040118567	0,03217964	0,039296188
440	0,026625928	0,031072724	0,026565884	0,030791789
470	0,01999127	0,023406756	0,013216638	0,023577713
500	0,01440419	0,017325088	0,009194183	0,017302053
530	0,010563073	0,01282772	0,011006498	0,012668622
560	0,006809254	0,008125926	0,006321001	0,008064516
590	0,002618944	0,003424132	0,001635504	0,003460411

Tabela 6 - Resultados da secagem para banho termostato à 35°C.

Tempo	9	10	11
5	0,960572458	0,970779971	0,965174832
10	0,914463084	0,928891766	0,919713869
20	0,829494835	0,835082528	0,818109087
30	0,729978201	0,756946692	0,73664643
50	0,588759359	0,620509501	0,603181326
80	0,42640508	0,451615886	0,443079674
110	0,31414084	0,335013177	0,325897689
140	0,230404701	0,249156225	0,233705116
170	0,145768174	0,163299274	0,139535978
200	0,102028244	0,117527394	0,09021601
230	0,074637475	0,089648158	0,06301473
260	0,04539854	0,055388599	0,036566427
290	0,039200076	0,047371584	0,031446186
320	0,033001611	0,03935457	0,026325945
350	0,026803147	0,031337556	0,021205704
380	0,020604682	0,023320542	0,016085463
410	0,014406217	0,015303528	0,010965222
440	0,010899441	0,011327385	0,008565109

470	0,007819164	0,007952286	0,005741447
500	0,005354943	0,004993296	0,004047249
530	0,002985499	0,002357945	0,002070686
560	0,001800777	0,0017569	0,000941221
590	0,000189555	0,000277405	0,00047061