



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
ÁREA DE ARMAZENAMENTO E
PROCESSAMENTO DE PRODUTOS AGRÍCOLAS



ESTÁGIO SUPERVISIONADO

**ISOTERMAS DE DESSORÇÃO E PROPRIEDADES
FÍSICAS E QUÍMICAS DA *Musa sp.***

José Cleidimário Araújo Leite
Aluno

Josivanda Palmeira Gomes de Gouveia
Orientadora

Francisco de Assis C. Almeida
Co-Orientador

Campina Grande, Outubro de 2002



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
ÁREA DE ARMAZENAMENTO E
PROCESSAMENTO DE PRODUTOS AGRÍCOLAS



ESTÁGIO SUPERVISIONADO

**ISOTERMAS DE DESSORÇÃO E PROPRIEDADES
FÍSICAS E QUÍMICAS DA *Musa sp.***

Josivanda P. Gomes de Gouveia

Orientadora

Josivanda Palmeira Gomes de Gouveia

[Handwritten signature]

Co-Orientador

Francisco de Assis Cardoso Almeida

José Cleidimário Araújo Leite

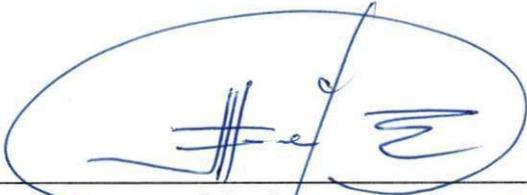
Aluno

José Cleidimário Araújo Leite

Campina Grande, Outubro de 2002.

BANCA EXAMINADORA

Josivanda P. Gomes de Gouveia
Orientadora
Professora Josivanda Palmeira Gomes de Gouveia


Membro
Professor Francisco de Assis Cardoso Almeida

Mozaniel Gomes da Silva
Membro
Professor Mozaniel Gomes da Silva



Biblioteca Setorial do CDSA. Abril de 2021.

Sumé - PB

AGRADECIMENTOS E DEDICATÓRIA

A Deus, por ter me ajudado e por me ajudar em todos os momentos que preciso, mostrando-me qual o melhor caminho a seguir, agradeço e dedico de todo meu coração.

Aos meus pais, João Alves Leite e Francisca Araújo Leite, que sempre me apoiaram e incentivaram a alcançar meu objetivo, agradeço e dedico com muito amor e carinho.

Aos meus irmãos Cleidiana, Cleidivan, Cleidinaldo, Claudiana, Cecília e Carlos Eduardo, meus sobrinhos Jéssica e Lucas, a minha avó Francisca Pereira de Moraes e a toda minha família, pelo incentivo e apoio sempre presentes, agradeço e dedico.

Aos professores Josivanda Palmeira Gomes de Gouveia e Francisco de Assis Almeida Cardoso, pelos inúmeros ensinamentos oferecidos, agradeço e dedico com estima e consideração.

Aos grandes amigos e colegas de curso Manassés Mesquita da Silva, Fábio Nunes de Sousa, Ridelson Farias de Sousa e Karina de Sousa Andrade, e ao grande amigo Ailton Rodrigues de Andrade, pela amizade, honestidade e companheirismo em todos os momentos, agradeço e dedico com alegria e satisfação a todos vocês.

A todos os professores do curso de graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, o meu muito obrigado por todo o conhecimento transmitido.

A todos os colegas alunos do curso de graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, pelos momentos saudosos e inesquecíveis que compartilhamos.

A todos os funcionários do curso de graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, em especial a Aldaniza e ao grande amigo Francisco das Chagas - Chico - (*in memoriam*), meu simples e sincero agradecimento.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	2
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
3.1. Origem da banana (<i>Musa sp.</i>)	3
3.1.1. <i>Classificação botânica</i>	4
3.1.2. <i>Aproveitamento, produção e consumo da banana no Brasil e no mundo</i>	4
3.1.3. <i>A banana nanica</i>	7
3.2. Atividade de água	8
3.3. Umidade de equilíbrio	9
3.4. Isotermas de sorção	10
3.5. Modelos matemáticos	11
3.6. Propriedades físicas e químicas	14
3.6.1. <i>Teor de umidade</i>	14
3.6.2. <i>Calor específico</i>	16
3.6.3. <i>Cinzas</i>	17
3.6.4. <i>Densidade</i>	18
3.6.5. <i>Ácido ascórbico (vitamina C)</i>	19
3.6.6. <i>pH</i>	20
3.6.7. <i>Acidez total</i>	20
4. MATERIAL E MÉTODOS	22
4.1. Aquisição da matéria-prima	22
4.2. Atividade de água	22

4.2.1. <i>Materiais utilizados</i>	22
4.2.2. <i>O equipamento Thermoconstanter Novasina (TH-200)</i>	22
4.2.3. <i>Procedimento para a determinação da atividade de água</i>	23
4.3. Umidade de equilíbrio	24
4.4. Isotermas de dessorção	25
4.5. Propriedades Físicas e Químicas	26
4.5.1. <i>Teor de umidade</i>	26
4.5.2. <i>Calor específico</i>	26
4.5.3. <i>Cinzas</i>	28
4.5.4. <i>Densidade</i>	29
4.5.5. <i>Ácido ascórbico (vitamina C)</i>	29
4.5.6. <i>pH</i>	31
4.5.7. <i>Acidez total</i>	31
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
5.1. Atividade de água e umidade de equilíbrio	32
5.2. Isotermas de dessorção	32
5.3. Propriedades físicas e químicas	38
5.3.1. <i>Teor de umidade</i>	39
5.3.2. <i>Calor específico</i>	39
5.3.3. <i>Cinzas</i>	39
5.3.4. <i>Densidade</i>	40
5.3.5. <i>Ácido ascórbico (vitamina C)</i>	40
5.3.6. <i>pH</i>	40
5.3.7. <i>Acidez total</i>	41
6. CONCLUSÕES	42
7. BIBLIOGRAFIA	43
ANEXOS	48

QUADROS

Quadro 1. Produção e exportação do Brasil, em mil cachos e o seu percentual no ano	5
Quadro 2. Consumo per cápita mundial das principais frutas	6
Quadro 3: Área, produção e produtividade média da banana no mundo em 2000	7
Quadro 4. Teor de umidade da banana madura	16

TABELAS

Tabela 1. Parâmetros de ajuste das isotermas de dessorção encontrados nos modelos de GAB, BET, Oswin e Halsey para a variedade da banana nanica.	33
Tabela 2. Propriedades físicas e químicas da banana variedade nanica	38
Tabela 3. Dados obtidos de atividade de água e umidade de equilíbrio para a variedade da banana nanica	49

FIGURAS

Figura 4.1. Esquema ilustrativo da metodologia usada na determinação da atividade de água e umidade de equilíbrio	24
Figura 1. Isotermas de dessorção da banana variedade nanica ajustadas pelo modelo de GAB.	36
Figura 2. Isotermas de dessorção da banana variedade nanica ajustadas pelo modelo de BET	36

Figura 3. Isotermas de dessecção da banana variedade nanica ajustadas pelo modelo de 37
Oswin

Figura 4. Isotermas de dessecção da banana variedade nanica ajustadas pelo modelo de 37
Halsey

1. INTRODUÇÃO

O fruto da bananeira se destaca como fonte importante na alimentação humana em virtude do seu valor calórico, energético e, principalmente, pelo conteúdo mineral e vitamínico que possui em sua composição. Apresenta-se como um dos frutos de maior demanda em todo o mundo, devido, principalmente, a seus atributos de qualidade e sabor, sendo consumido em sua grade parte na forma “*in natura*”. Entretanto, além da grande procura da fruta “*in natura*”, existem produtos processados e comercializados na forma de sucos, geléias, polpa, doce e outros. Para a fabricação desses produtos é indispensável o conhecimento das suas propriedades físicas e químicas, visto que o conhecimento dessas propriedades tem um papel fundamental nos projetos de equipamentos e processos de transporte, secagem, resfriamento e armazenamento do produto.

Um fator que é de extrema importância para a elaboração de projetos visando o aproveitamento industrial de um produto, bem como para sua conservação, é a quantidade de água que o mesmo possui, visto que, esta influencia em muitos aspectos da sua qualidade, determinando quais os produtos que possuem maior tendência de se conservar e quais têm tendência de se estragar, dependendo do meio em que se encontram submetidos.

No caso específico da banana, a fruta possui um alto teor de umidade que está em torno de 70%, caracterizando-a como um produto biológico muito higroscópico. Os produtos higroscópicos têm a propriedade de realizar trocas de água, sob a forma de vapor ou líquido, com o ambiente que os envolve, por absorção ou dessorção, dependendo de suas características hídricas e do meio em que se encontram. Entretanto, o conhecimento da atividade de água de produtos com alto teor de umidade é indispensável no estudo dos processos de secagem, armazenamento e embalagem, uma vez que, quanto maior a atividade de água de um produto, mais submetido ele está ao ataque de microorganismos, que como células vivas, necessitam de água para viver.

Diante deste contexto, estudou-se neste trabalho o comportamento da umidade de equilíbrio e da atividade de água sob diferentes temperaturas, utilizando modelos matemáticos biparamétricos e triparamétricos, e também algumas propriedades físicas e químicas envolvidas nos processos de industrialização da banana variedade nanica.

2. OBJETIVOS

2.1. Geral

Determinar a atividade de água e algumas das principais características físicas e químicas ligadas ao aproveitamento industrial da banana (*Musa sp.*), para a variedade nanica, vulgarmente conhecida como banana “casca verde”.

2.2. Específicos

1. Determinar as isotermas de dessorção da banana variedade nanica nas temperaturas de 20, 30, 40 e 50 °C, utilizando os modelos matemáticos biparamétricos de Oswin e Halsey e os triparamétricos de GAB e BET;
2. Determinar o teor de umidade, calor específico, densidade, cinzas, vitamina C, pH e acidez total.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Origem da banana (*Musa sp*)

A origem da bananeira não pode ser indicada com muita precisão, pois existem indícios desta planta desde a mitologia grega a indiana. Atualmente, admite-se que seja oriunda do Oriente, do sul da China ou da Indochina. Mas algumas referências citam a sua presença na Índia, na Malásia e nas Filipinas, onde é cultivada há mais de 4.000 anos (Moreira, 1999).

O fruto da bananeira foi trazido para o Ocidente pelos comerciantes árabes, que o transportavam como um valioso alimento para ser consumido durante as viagens de suas caravanas e logo depois começaram a plantá-la nas costas do Atlântico.

A exploração da banana na agricultura foi iniciada pelos Árabes, quando ocupavam as Ilhas Canárias, que foram os pioneiros das grandes plantações que fornecem a fruta para grande parte da Europa. No entanto, a distribuição da bananeira por todo planeta ocorreu quando o missionário Tomás de Berlanga, no início do século XVI, transportou alguns rizomas das Ilhas Canárias para o Novo Mundo. Após isso, extensos bananais começaram a avançar sobre as selvas do Caribe e pelas regiões tropicais da América, dando origem a enormes fortunas e criando acirradas disputas entre os comerciantes.

Tudo indica que antes da chegada dos europeus à América, já existiam algumas espécies de bananeiras nativas. No entanto, os frutos não eram consumidos crus, necessitando de preparo ou de cozimento prévio, não constituindo parte principal da dieta das populações.

No Brasil, as bananeiras existem desde antes do seu descobrimento. Quando Cabral chegou no Brasil, os indígenas já se alimentavam da banana *in natura* de um cultivar muito digestivo que se supõe tratar-se do 'Branca' e outro, rico em amido, que precisava ser cozido antes do consumo, chamado de 'Pacoba' que deve ser o cultivar Pacova (Moreira, 1999).

3.1.1. Classificação botânica

Segundo Simmonds, citado por Moreira (1999), as bananeiras produtoras de frutos comestíveis são classificadas como plantas da:

Classe: Monocotyledonea

Ordem: Scitaminea

Família: Musaceae

Subfamília: Musoideae

Gênero: Musa

Subgênero (ou seção): Eumusa

Espécies comestíveis: *Musa acuminata* Colla e *Musa balbisiana* Colla

3.1.2. Aproveitamento, produção e consumo da banana no Brasil e no mundo

A bananeira é uma planta herbácea com um porte que varia de 2,0 a 8,0 m e com raízes fibrosas e superficiais. O caule verdadeiro é subterrâneo (rizoma), as folhas têm bainhas (os pecíolos) que se justapõem formando um falso caule aéreo (pseudocaule). A inflorescência tem flores masculinas, femininas e por vezes hermafroditas.

Em seu estado natural, a banana é consumida fresca, assada, frita ou cozida. Quando processada em casa compõe doces em rodela, doce para corte, banana-passa (seca) e aguardente. Na indústria podem ser obtidos os seguintes produtos derivados: farinha de banana, cremes, passa, néctar, geléia, doce, balas, vinagre, vinho, licor, sucos, etc.

Da planta (pseudocaule e folhas) podem ser retiradas as fibras para confecção de sacos para cereais, chapéus, rendas, cortinas, tapetes. Em regiões pobres, as folhas podem ser usadas para cobrir casas. As cascas frescas do fruto maduro podem ser fornecidas, como alimento para animais.

De um modo geral, para um bom desenvolvimento da cultura da banana, o ambiente deve apresentar as seguintes condições: umidade relativa do ar abaixo de 80%, temperatura média de 26°C (entre 10°C e 40°C), luminosidade em torno de pouco mais

de 2.000 horas.ano⁻¹, vento com velocidade abaixo de 40 km.h⁻¹ e chuvas com no mínimo 100 mm mensais, o que equivale a uma média de 1.200 mm anuais.

Segundo Villar (1999) a banana madura apresenta a seguinte composição: teor de água de 70%, proteínas (1,2%), carboidratos (27%), sais minerais (Cálcio, Ferro, Cobre, Zinco, Iodo, Manganês e Cobalto) e vitaminas (vitamina A, Tiamina, Riboflavina, Niacina e vitamina C).

O Brasil é o segundo maior produtor mundial da banana, sendo superado apenas pela Índia. A banana é a fruta mais consumida no país e no mundo e constitui parte importante da alimentação das camadas mais carentes da população. Ocupa o segundo lugar em volume de frutas produzidas no Brasil, perdendo apenas para a laranja, destacando-se ainda como grande empregadora de mão-de-obra rural, sobretudo familiar. No entanto, o índice de exportação do Brasil é baixíssimo, como se pode observar no Quadro 1.

Quadro 1. Produção e exportação do Brasil, em mil cachos e o seu percentual no ano

Ano	Produção	Exportação	% Exportada
1973	356.399	6.924	1,94
1984	470.815	5.157	1,09
1997	595.344	2.005	0,33

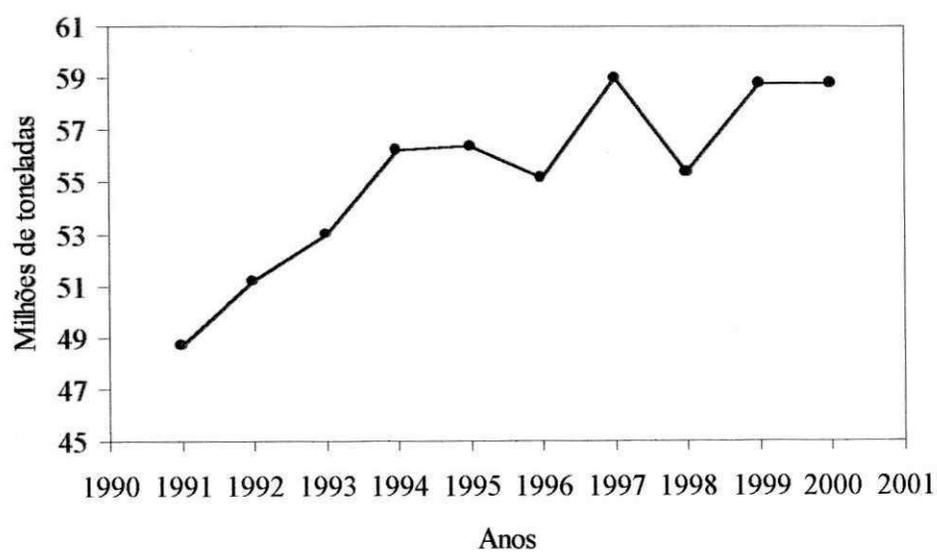
FONTE: Banana - Teoria e Prática de Cultivo, 2ª edição, MOREIRA (1999).

O consumo per cápita mundial é o maior entre todas as frutas e apresentou crescimento ao longo dos últimos anos, como se observa no Quadro 2. No Gráfico 1 observa-se o crescimento da produção de banana em todo mundo na última década.

Quadro 2. Consumo per cápita mundial das principais frutas

Frutas	Consumo per cápita (kg.hab ⁻¹ ano ⁻¹)
Banana	11,2
Laranja	11,0
Maçã	8,2
Uva	3,1

FONTE: FAO (2001).



FONTE : FAO (2001)

No Quadro 3, pode-se observar a área, a produção e a produtividade média da banana nos dez países maiores produtores e no mundo, no ano 2000.

Quadro 3: Área, produção e produtividade média da banana no mundo em 2000

País	Área (ha)	Produção (t)	Produtividade (kg.ha⁻¹)
Brasil	536.842	6.301.494	12.110
Índia	445.000	11.000.000	24.719
Filipinas	337.100	3.560.800	10.563
Indonésia	269.778	3.165.730	11.734
China	214.000	4.812.529	22.488
Equador	193.601	5.000.000	25.826
Tailândia	134.000	1.720.000	12.835
México	74.818	1.802.278	24.088
Colômbia	50.400	1.570.000	31.150
Costa Rica	50.000	2.101.449	42.029
MUNDO	3.926.230	58.687.214	14.947

FONTE: FAO (2001).

Apesar de ser uma fruta na qual seu plantio sofre restrições devido aos fatores climáticos, como temperatura e precipitação, a banana é cultivada em todos os estados do Brasil, desde a faixa litorânea até os planaltos do interior (IBGE, 1991).

Todo o volume produzido no Brasil, cerca de seis milhões de toneladas/ano (FAO, 1991), é praticamente consumido dentro do país que exporta apenas 1% de sua produção. A distribuição regional da produção apresenta os seguintes índices: Sudeste (33%), Nordeste (29%), Norte (18%), Sul (11%) e Centro-Oeste (9%). Os estados mais produtores, respectivamente, são: Bahia (18%), São Paulo (14%), Santa Catarina (9%), Pará (9%) e Minas Gerais (8%), com o restante da produção (42%) vindo dos demais estados (IBGE/LSPA, 1991).

3.1.3. Características da banana nanica

A banana nanica tem seu pseudocaule com cerca de 2,0 m de altura, tendo a base do seu pseudocaule o diâmetro de 30 a 35 cm e no seu topo cerca de 25 a 30 cm. O comprimento da folha varia ao redor de 160 cm e sua largura, 80 cm. O cacho se

apresenta com 10 a 12 pencas, sendo que a primeira chega a ter até 36 bananas, que são bem recurvadas em meia lua, com comprimento chegando a 20 cm. A última penca tem de 6 a 8 bananas, são quase retas e com 8 a 10 cm. Quando madura, a casca fica amarelo gema de ovo. A polpa quando verde é branca e ao ficar madura se torna levemente creme. Quando não muito madura é usada na cozinha doméstica sendo preparada à milanesa, em tortas, compotas, etc.

3.2. Atividade de água (a_w)

De modo geral, a atividade de água é definida como sendo a relação entre a pressão de vapor de água no ar e a pressão de vapor no ar saturado, medidas a mesma temperatura. Já a atividade de água de um alimento é a relação entre a pressão de vapor de água no alimento e a pressão de vapor da água pura, medidas à mesma temperatura.

Segundo Corrêa et al. (2001), a quantidade de água em um produto pode ser medida de diferentes formas, mas nem todos os métodos indicam a disponibilidade da água para os microorganismos, uma vez que nem toda água do produto está igualmente disponível. A disponibilidade da água em materiais higroscópicos, tais como frutos e derivados, é melhor indicada pela atividade de água (a_w) ou pela umidade de equilíbrio com a umidade relativa do ar ambiente. Quando se estabelece o equilíbrio, a umidade relativa e a atividade de água são numericamente iguais.

A presença de fungos em produtos de origem vegetal está ligada a quantidade de água contida nesses produtos. Um estudo feito por Christensen e Kaufmann (1974), em que avaliaram a influência da atividade de água para diversos produtos de origem vegetal no comportamento dos principais fungos sob condições ótimas de temperatura (26 a 30 °C), constatou que, de modo geral, atividades de água superiores a 0,70 são favoráveis à sobrevivência e desenvolvimento de fungos do gênero *Aspergillus sp.*, e os fungos do gênero *Penicillium sp.* necessitam, em sua maioria, de valores superiores a 0,85 de atividade de água.

A atividade de água é uma propriedade fundamental para a conservação e armazenamento de um alimento sendo um parâmetro muito mais importante que o pH, teor de umidade e outras propriedades estudadas nos alimentos. Ela não é só função do conteúdo de água, é também função das substâncias as quais exercem o efeito de ligação

de água na estrutura do alimento. Desta forma, alimentos que possuem em sua estrutura a mesma quantidade de umidade podem deste modo, ter diferentes atividades de água, dependendo do seu conteúdo de água ligando substâncias a sua estrutura (Heidelbaug e Karel, 1975).

A atividade de água pode ser relacionada à Lei de Raoult, de acordo com a Equação 3.1.

$$a_w = \frac{P}{P_0} \quad (3.1)$$

em que:

a_w - atividade de água;

P - pressão parcial de vapor da água no produto a temperatura T;

P_0 - pressão de vapor da água pura à mesma temperatura T.

A atividade de água de uma forma quantitativa é representada como sendo proporcional à umidade relativa do ar em equilíbrio com o produto, como pode ser observado na Equação 3.2.

$$a_w = \frac{UR}{100} \quad (3.2)$$

em que:

a_w - atividade de água;

UR - umidade relativa de equilíbrio exercida pela solução ou pelo alimento, em %.

3.3. Umidade de equilíbrio

De acordo com Labuza et.al. (1986), Texeira Neto e Quast (1997) a relação existente entre a água e outros compostos de um produto determina a sua higroscopicidade que é muito marcante e torna-se uma característica essencial que pode influenciar nas diversas etapas do processamento, armazenamento e consumo de materiais biológicos.

O conceito de umidade de equilíbrio é importante porque está diretamente relacionado com a secagem e armazenagem de produtos agrícolas. A umidade de

equilíbrio do produto é útil para determinar se o mesmo ganhará ou perderá umidade, em relação à condição de temperatura e umidade relativa do ar.

Segundo Roa e Rossi, citado por Prado et al. (1999), o conteúdo de umidade de equilíbrio é definido como sendo a quantidade de massa de água por unidade de massa total que um produto contém quando é submetido a condições controladas de temperatura e umidade do ar.

Todo material higroscópico tem a propriedade de ceder ou absorver água do ambiente onde se encontra, tendendo constantemente, a manter uma relação de equilíbrio entre o seu teor de umidade e a umidade do ar ambiente. Este equilíbrio é denominado umidade de equilíbrio higroscópico (Corrêa et al., 2001).

Treyball, citado por Sá (2002), caracteriza a umidade de equilíbrio como um fator de relevante importância para o processo de secagem, visto que ela representa o valor limite para uma determinada condição de umidade relativa e temperatura. Assim, pode-se definir a umidade de equilíbrio de um produto como sendo o conteúdo de umidade que o mesmo apresenta quando a pressão de vapor de água em sua superfície é igual à pressão de vapor de água no ar que o envolve.

Entretanto, pode-se afirmar que um determinado produto está em equilíbrio com o ar ambiente quando a razão da perda de umidade do produto para o ambiente é igual a razão do ganho de umidade, então ele atinge a umidade de equilíbrio. Este equilíbrio varia de acordo com a temperatura e a umidade relativa para cada produto.

3.4. Isotermas de sorção

As isotermas de sorção são curvas que expressam uma relação entre a atividade de água e a umidade de equilíbrio de um produto para uma determinada temperatura. Essas podem ser classificadas como: adsorção e dessorção. A adsorção ocorre quando um material, completamente seco, é colocado em ambiente com uma determinada umidade e é medido um aumento de peso desse material devido a absorção de água. A dessorção, que é um processo contrário, ocorre quando um material com uma certa umidade é colocado em um ambiente seco, ou com temperatura superior a do material, e mede-se a sua diminuição de peso. A diferença entre essas duas isotermas é denominada de histerese.

Segundo Ascheri (1999) as isotermas de sorção de água são representações gráficas da umidade de equilíbrio para diferentes valores de atividade de água com temperatura constante e são chamadas de curvas de umidade de equilíbrio.

Dural e Hines (1993) destacam que o conhecimento das isotermas de sorção de água tem importância relevante na concentração, desidratação e secagem, previsão de estabilidade química, enzimática e microbiológica, seleção de material para embalagens, bem como na determinação da qualidade e vida de prateleira de alimentos.

De acordo com Ascheri (1999), estas curvas indicam o tipo de força que intervém na ligação da água com a superfície do material higroscópico e permite certas avaliações da estrutura superficial, da sua estabilidade durante o armazenamento e pode-se projetar uma embalagem apropriada a sua melhor conservação.

O estabelecimento de curvas de equilíbrio higroscópico é importante para definir limites de desidratação do produto, estimar as mudanças de umidade sob determinada condição de temperatura e umidade relativa e para definir os teores de umidade propícios ao início de atividade de agentes que poderão provocar a deterioração do produto (Corrêa, 2001).

As isotermas de desorção de umidade em um alimento dão informações indispensáveis ao desenvolvimento de processos como, por exemplo, a concentração e a desidratação. É através da isoterma que se determina o valor da monocamada de água ligada ao alimento (Sá, 2002). Segundo Santini (1996) a água não deve ser retirada em quantidade inferior à monocamada, devido este ser o limite abaixo do qual se iniciam as reações químicas indesejáveis no produto, além de ser nesta região onde irá ocorrer um desperdício maior de energia para a retirada da água residual do produto.

3.5. Modelos matemáticos

A grande importância das isotermas de sorção de água vem fazendo com que diversos pesquisadores estudem modelos matemáticos que se ajustem o melhor possível aos valores de umidade de equilíbrio para cada produto em função da temperatura e umidade relativa do ar.

Segundo Pena et al. (2000), a vantagem da utilização de modelos matemáticos na predição das isotermas de sorção reside no fato de que com alguns pontos experimentais

pode-se construir uma isoterma, a qual pode ser facilmente interpolada ou extrapolada para a obtenção de pontos nas regiões de baixas e altas atividades de água, pontos estes de difícil determinação experimental, devido à limitação dos higrômetros (baixas a_w) e o desenvolvimento de fungos (altas a_w).

Na literatura podem ser encontrados alguns modelos matemáticos teóricos que podem ser utilizados para o ajuste de curvas experimentais de sorção. Neste trabalho serão estudados e testados os modelos de BET, GAB, Oswin e Halsey.

O modelo de BET (Braunauer, Emmett e Teller) é o mais usado, fornecendo um bom ajuste dos dados para uma grande variedade de alimentos que possuam uma atividade de água na região de 0,05 a 0,45. Este modelo é representado pela Equação 3.3:

$$\frac{x}{x_m} = \frac{C \cdot a_w}{1 - a_w} \left[\frac{1 - (n + 1) \cdot (a_w)^n + n \cdot (a_w)^{n+1}}{1 - (1 - C) \cdot a_w - C \cdot (a_w)^{n+1}} \right] \quad (3.3)$$

em que:

a_w - atividade de água;

n - número de camadas moleculares;

x - conteúdo de umidade de equilíbrio expressa em base seca;

x_m - conteúdo de umidade na monocamada molecular;

C - constante de BET.

O modelo de GAB (Guggenheim-Anderson-Boer), com três parâmetros, é uma extensão do modelo de BET e foi introduzido por Van der Berg para produzir a descrição e comparação das isotermas de alimentos (Almeida et al., 1999). Este modelo é expresso pela Equação 3.4.

$$x = \frac{x_m \cdot C \cdot k \cdot a_w}{(1 - k \cdot a_w) \cdot (1 - k \cdot a_w + C \cdot k \cdot a_w)} \quad (3.4)$$

em que:

a_w - atividade de água;

x - conteúdo de umidade de equilíbrio expressa em base seca;

x_m - constante definida de acordo com o modelo de BET;

C - constante dependente da temperatura;

k - constante que melhora o ajuste com o modelo de BET.

Este modelo apresenta uma boa descrição para uma grande variedade de isotermas de alimentos na faixa de atividade de água de 0 a 0,90.

O modelo de Oswin é a expansão de uma série matemática para curvas sigmoidais (Chirife e Iglesias, 1978) e pode ser escrita de acordo com a Equação 3.5.

$$x = a \left(\frac{a_w}{1 - a_w} \right)^b \quad (3.5)$$

em que:

a_w - atividade de água;

a e b - parâmetros de ajuste do modelo;

x - umidade de equilíbrio expressa em base seca.

Halsey (1940) desenvolveu uma equação (Equação 3.6) na qual considera a condensação da multicamada a uma distância relativamente grande da superfície. Ele considerou que a magnitude do parâmetro b caracteriza o tipo de interação entre o vapor e o sólido. Se b é grande, a atração entre o sólido e o vapor é muito específica e não se estende para muito longe da superfície. Se b é pequeno, as forças de atração predominantes são de Van der Waals e são capazes de agir a grandes distâncias da superfície.

$$a_w = \exp \left(\frac{-a}{R T \left(\frac{x}{x_m} \right)^b} \right) \quad (3.6)$$

em que:

a_w - atividade de água;

x - conteúdo umidade de equilíbrio expressa em base seca;

x_m - conteúdo de umidade na monocamada molecular;

a e b - parâmetros de ajuste;

R - constante universal dos gases;

T - temperatura de realização do experimento.

Chirife e Iglesias (1978) simplificaram a equação de Halsey e encontraram resultados satisfatórios para mais de 220 isotermas experimentais estudadas. A equação obtida foi a Equação 3.7, apresentada abaixo.

$$a_w = \exp\left(\frac{-a}{X_e^b}\right) \quad (3.7)$$

em que:

a_w - atividade de água, adimensional;

X_e - **umidade de equilíbrio** expressa em base seca, Kg Kg⁻¹;

a e b - constantes que dependem da temperatura e natureza do produto.

3.6. Propriedades físicas e químicas

3.6.1. Teor de umidade

Os materiais higroscópicos contêm água em estado líquido que está em contato direto com sua estrutura celular e que pode ser facilmente evaporada na presença de calor. Esta água é denominada água livre. Esses materiais possuem outra quantidade de água denominada água de constituição que compõe a estrutura celular e está quimicamente presa ao material. Quando esses materiais são submetidos a um processo de secagem, apenas a água livre é removida ou evaporada com a presença do calor.

O teor de umidade de um produto pode ser definido como a relação entre a massa de água livre contida no produto e sua massa total. A umidade influencia diretamente as características necessárias aos processos como colheita, armazenamento, embalagem, entre outros, porque esses processos exigem um determinado teor de umidade para que não haja perdas em sua execução. Mesmo estando relativamente seco

durante o ponto ideal de colheita, o produto deverá passar por uma secagem complementar, que o deixará em condições ideais para ser processado.

Existem dois métodos para expressar o teor de umidade de um produto: base úmida e base seca.

A umidade em base úmida é dada pela Equação 3.8.

$$U_{bu} = \left(\frac{m_a}{m_t} \right) \times 100 \quad (3.8)$$

em que:

U_{bu} - umidade em base úmida, em %;

m_a - massa de água da amostra, em g;

m_t - massa total da amostra, em g.

A umidade em base seca é dada pela Equação 3.9.

$$U_{bs} = \left(\frac{m_a}{m_s} \right) \times 100 \quad (3.9)$$

em que:

U_{bs} - umidade em base seca, em %;

m_a - massa de água da amostra, em g;

m_s - massa seca da amostra, em g.

Podemos observar nas equações (3.8) e (3.9) que o teor de umidade em base seca (U_{bs}) será sempre numericamente maior que o teor de umidade em base úmida (U_{bu}), devido este teor de umidade considerar a massa total da amostra (m_t) enquanto que o teor de umidade em base seca considera apenas a massa seca da amostra (m_s).

No Quadro 4 estão apresentados alguns valores de umidade para a banana madura e as respectivas referências dos autores citados por Lima et al. (2000).

Quadro 4. Teor de umidade da banana madura

Teor de umidade (% b.u.)	Referências
75,0	Rao (1992)
76,0 (purê)	Singh (1992)
74,8	Potter e Hotchkiss (1995)
76,0	Ashrae (1993)
73,5	Marin et al. (1985)

3.6.2. Calor específico

O calor específico é a quantidade de calor que cada grama de uma substância necessita trocar para elevar sua temperatura em 1°C. Quanto menor o calor específico de uma substância, mais facilmente ela pode sofrer variações em sua temperatura. É importante salientar que o calor específico depende da substância e não da quantidade total de massa da mesma.

De forma geral, o calor específico indica quanto de calor é requerido para mudar a temperatura de um material e também independe da densidade. Este é medido freqüentemente através do uso de um calorímetro. Sweat (1974), cita dois equipamentos para a determinação dessa propriedade: o calorímetro de mistura e o calorímetro diferencial de varredura.

O uso do calorímetro de mistura é discutido por Mohsenin (1984), enquanto Lewis (1987), apresenta uma técnica simples para medida do calor específico, que é semelhante ao método para determinação da entalpia.

Segundo Choi e Okos (1983), a maior fonte de erro do método de mistura direta é a perda de calor do calorímetro e o calor adicionado por agitação, além dos erros decorrentes das trocas de calor entre as amostras e o ambiente.

Rao (1992) apresentou um calor específico de $3,684 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ para a banana acima do ponto de congelamento e Potter & Hotchkiss (1995) apresentaram um valor de

3,349 $\text{kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ para a fruta nessa mesma condição. Bleinroth (1984) apresentou uma variância do calor específico da banana madura entre 3,349 e 3,558 $\text{kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$.

Lopez-Ramos et al. (1993) determinaram os calores específicos de algumas frutas e vegetais tropicais pelo método do calorímetro e obtiveram valores para cp entre 3,3 e 4,2 $\text{kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$. Os desvios entre os resultados experimentais e os encontrados na literatura ficaram ao redor de 8% e podem ser atribuídos às diferenças no conteúdo de água (a umidade estava entre 55 e 90%, enquanto na literatura era de 85 a 90%) e às diferentes natureza dos produtos.

3.6.3. Cinzas

As cinzas consistem no resíduo obtido por aquecimento de um produto em temperatura próxima de 600 °C. Nem sempre este resíduo representa toda a substância inorgânica presente na amostra, pois alguns sais podem sofrer redução ou volatilização nesse aquecimento. Geralmente, as cinzas são obtidas por ignição de quantidade conhecida da amostra, entre 1 e 5 g, em cadinho ou cápsula de platina, porcelana ou outro material resistente ao calor, e mantido em mufla a 550 °C, até eliminação completa do carvão. As cinzas deverão ficar brancas ou ligeiramente acinzentadas. Em caso contrário, deve-se esfriar, adicionar 0,5 ml de água, secar e incinerar novamente. Algumas gotas de azeite comestível, adicionadas inicialmente à amostra, facilitam a carbonização. Algumas amostras contendo sais de metais alcalinos, que retêm proporções variáveis de dióxido de carbono nas condições da incineração, são tratadas, inicialmente, com solução de carbonato de amônia com ácido sulfúrico diluído e, após secagem do excesso do reagente, aquecidas e pesadas. São, então, denominadas cinzas carbonatadas ou cinzas sulfatadas, respectivamente. Muitas vezes é vantajoso combinar a determinação direta de umidade e a determinação de cinzas, incinerando o resíduo obtido na determinação de umidade. (INSTITUTO ADOLFO LUTZ., 1976).

Mohsenin (1986) apresentou um valor de 0,90 % para o teor de cinzas da banana madura e Potter e Hotchkiss (1995) apresentaram um valor de 0,80 % para esta fruta.

Moreira (1987) apresentou um teor de cinzas de 1,0 g/100g para a banana variedade nanica.

3.6.4. Densidade

A determinação da densidade é, geralmente, feita em análise de alimentos que se apresentam no estado líquido. Pode ser medida por vários aparelhos, sendo mais utilizados os seguintes: balança de Westhal, picnômetros e decímetros. O uso da balança de Westhal é um método simples, direto e conveniente desde que suficiente quantidade de amostra seja disponível. Os picnômetros dão resultados precisos e são construídos e graduados de modo a permitir a pesagem de volumes exatamente iguais de líquidos, a uma dada temperatura. Da relação destes pesos e volumes resulta a densidade dos mesmos à temperatura da determinação. Usando água como líquido de referência, tem-se a densidade relativa à água ou peso específico. Os decímetros, quase sempre de forma cilíndrica com bulbo central, terminando em haste fina e graduada, são construídos de modo que o ponto de afloramento indique, sobre a escala, a densidade do líquido no qual está imerso o aparelho. Existem vários tipos, com valores diversos, em função da sensibilidade exigida para sua aplicação. A leitura deve ser feita sempre abaixo do menisco. As diferentes escalas usadas pelos decímetros podem dar a leitura direta da densidade ou graus de uma escala arbitrária como Brix, Gay-Lussac, Beauné, Quevenne, correspondentes aos sacarômetros, alcoômetros e lactômetros, há muito tempo utilizados em bromatologia. Os graus Brix referem-se à percentagem em peso de sacarose em solução a 20°C. Os graus Gay-Lussac referem-se à percentagem em volume de água em água. Os graus Beauné foram obtidos de modo empírico: para líquidos mais densos que a água, o zero da escala corresponde à água destilada a 4°C e o grau 15 a uma solução de 15 g de cloreto de sódio em 85 g de água. Para os líquidos menos densos que a água, o zero da escala foi obtido com uma solução de 10 g de cloreto de sódio em 90 g de água, e o grau 10, com água destilada. Os lactômetros são, especialmente calibrados de modo a abranger as variações de densidade de 1,025 a 1,035, mais apenas os dois últimos algarismos são marcados na escala e, portanto, as leituras são de 25,0 a 35,0 ° Quevenne (INSTITUTO ADOLFO LUTZ., 1976).

Sweat, citado por Lima et al. (2000), apresentou uma densidade de $0,98 \text{ g.cm}^{-3}$ para a banana madura e Finney Jr. et al. (1967) apresentaram um intervalo de densidade entre $0,96$ e $1,01 \text{ g.cm}^{-3}$ para a fruta.

3.6.5. Ácido ascórbico (vitamina C)

A vitamina C é utilizada na prevenção dos estados gripais e das rinofaringites virais, no decorrer de certos tratamentos com antibióticos, para acelerar a cicatrização de feridas, como coadjuvante nos casos de carência de ferro, como complemento ao tratamento de algumas intoxicações (chumbo, mercúrio...) e perturbações hemorrágicas (gingivite, alteração da permeabilidade capilar, púrpura).

Essa vitamina é necessária para manter normais as paredes dos vasos sanguíneos. As frutas cítricas, as verduras, o tomate e a cebola são ricos em vitamina C. Existem diversas substâncias que apresentam atividade em vitamina C, das quais a mais importante é o ácido-ascórbico que é sintetizado por um grande número de plantas e por todos os mamíferos conhecidos, exceto os primatas.

Segundo Chitarra e Chitarra (1990), aproximadamente 90% das necessidades de vitamina C do homem são oriundas de frutas e verduras. As frutas cítricas são consideradas as melhores fontes de vitamina C, devido a seu consumo elevado no mundo inteiro e, principalmente, por apresentar um elevado teor dessa vitamina (50 a 75mg/100ml de suco).

A principal causa da degradação da vitamina C é a oxidação, aeróbia e anaeróbia. Ambas provocam a formação de furaldeídos, que são compostos que polimerizam facilmente, formando pigmentos escuros (Brasil e Guimarães, 1998).

Macrae et al. (1993) apresentou uma quantidade de vitamina C de 10,0 mg/100g para a banana madura, enquanto que Moreira (1987) apresentou valores variando entre 0,10 e 0,11 mg/100g para a banana nanica. A variação verificada nestes valores encontrados na literatura pode ser atribuída aos estados de maturação diferentes das frutas nas determinações feitas ou nas variedades das mesmas.

3.6.6. pH

Segundo Chaves (1993), a determinação do pH é importante por está relacionada aos seguintes fatores: influência na palatabilidade, desenvolvimentos de microorganismos, escolha da temperatura de esterilização, da embalagem que será utilizada para o alimento, do tipo de material de limpeza e desinfecção, de aditivos e outros.

De acordo com Torrezan (1997), o pH é um fator determinante da intensidade do tratamento a ser empregado para atingir a esterilidade comercial do produto embalado. A maioria das frutas podem ser acidificadas, de tal forma que o pH esteja abaixo de 4,5 e assim permita que o tratamento térmico a ser empregado seja brando (abaixo de 100°C de pasteurização).

O pH pode ser determinado por dois processos: o colorimétrico e o eletrométrico. A determinação colorimétrica emprega indicadores coloridos ou papel de filtro impregnado com corantes que mudam de cor em função da concentração hidrogeniônica (pH). Este processo permite apenas medir aproximadamente o pH e não é aplicado às soluções coloridas ou muito turvas ou soluções absorventes, dando resultados falsos.

O processo eletrométrico baseia-se na determinação da concentração hidrogeniônica (pH) usando um potenciômetro e exige a calibração do aparelho com soluções - padrão, podendo ser aplicado para todos os casos, inclusive para soluções coloridas ou turvas (Oliveira, 1997).

3.6.7. Acidez total

A acidez total em uma bebida não alcoólica é resultante dos ácidos orgânicos do próprio alimento, dos adicionados diretamente durante o processo e daqueles resultantes das alterações químicas do produto. Portanto, a determinação da acidez total pode fornecer dados valiosos na apreciação do processamento e do estado de conservação da bebida (Oliveira, 1997).

Segundo Bleinroth (1988) o teor de acidez total das frutas tende a aumentar com o seu crescimento até o seu desenvolvimento fisiológico completo, começando a decrescer com o amadurecimento.

A aceitação de frutos cítricos como laranja, limão, etc, e seus sucos pelos consumidores, tem como principal fator o sabor azedo (Cabral, 2001).

Os métodos que avaliam a acidez total resumem-se em titular com solução padronizada de álcali a acidez de bebida não alcoólica, empregando a fenolftaleína como indicador do ponto final da titulação. Um potenciômetro pode ser usado na titulação, até que a solução atinja 8,1, que é o “ponto” de viragem da fenolftaleína.

4. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas do Departamento de Engenharia Agrícola no Campus II da Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande - PB.

4.1. Aquisição da matéria-prima

A banana variedade nanica (casca verde) foi adquirida em feira livre e sua procedência é do sítio Geraldo, localizado no município de Alagoa Nova, estado da Paraíba.

4.2. Atividade de água (a_w)

Os dados experimentais de atividade de água foram obtidos no Laboratório de Secagem e Processos Químicos do Departamento de Engenharia Química no Campus II da Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande - PB.

4.2.1. Materiais utilizados

Thermoconstanter Novasina (TH-200);

Balança analítica (marca HR-200);

Estufa com remoção e circulação de Ar (MA-035);

Dessecador.

4.2.2. O equipamento Thermoconstanter Novasina (TH-200)

O levantamento dos dados experimentais para a determinação das isotermas de dessecção da banana variedade nanica foi feito utilizando o equipamento Thermoconstanter Novasina (TH-200), que é um equipamento utilizado para a

determinação direta da atividade de água de um determinado produto mantendo-se ajustada a temperatura desejada.

No Thermoconstanter Novasina (TH-200) a temperatura da câmara é regulada por meio de um controlador localizado no painel frontal do equipamento, que serve para fixar o valor da temperatura ajustada entre as faixas de 0 e 50 °C com variações de 0,1 °C em toda escala de trabalho. A câmara de medição combinada com o regulador de temperatura forma uma pequena câmara climática.

O espaço onde a amostra é colocada para a medição contém um sensor de umidade e temperatura. Este sensor é o BSK Novacina, que mede a atividade de água e temperatura de pequenas amostras que se apresentam na forma de sólidos (nele, é possível determinar a atividade de água de sólidos, líquidos e gel). Este equipamento possui um transmissor RTD-20, que converte os sinais da célula plástica de medição. Os valores medidos de atividade de água e de temperatura, podem ser lidos diretamente no painel frontal do mesmo (Sá, 2001).

4.2.3. Procedimento para a determinação da atividade de água

No processo de dessorção, as amostras foram inicialmente levadas para a estufa com circulação forçada de ar na temperatura de 100 °C por um período de uma hora (1 h) para ser feita uma secagem inicial. Após este tempo, as amostras foram levadas para o dessecador durante um período de 10 minutos e, em seguida, foram colocadas no Thermoconstanter Novasina (TH-200) com a temperatura fixada até atingir o equilíbrio. Quando o equilíbrio foi atingido, fez-se a primeira leitura da atividade de água no painel do Novasina. Após essa leitura, as amostras foram levadas para ser pesadas em uma balança analítica, com precisão de 0,0001g, e determinou-se a massa das amostras no equilíbrio (m_{eq}), isto é, a massa das amostras para a temperatura fixada e atividade de água correspondente. Após a pesagem, as amostras foram levadas novamente para a estufa, agora por períodos em torno de 30 minutos, e determinou-se os outros pontos repetindo todo o procedimento citado até obter todos os pontos necessários para a construção das isotermas de dessorção do fruto.

Após a leitura de todas as amostras, estas foram colocadas na estufa de circulação forçada à temperatura de 100 °C durante um período de 4 horas e em seguida, pesadas para a obtenção da massa seca de cada amostra (m_s).

Na Figura 4.1 encontra-se apresentado um o esquema ilustrativo que resume a metodologia usada na determinação da atividade de água e umidade de equilíbrio em laboratório.

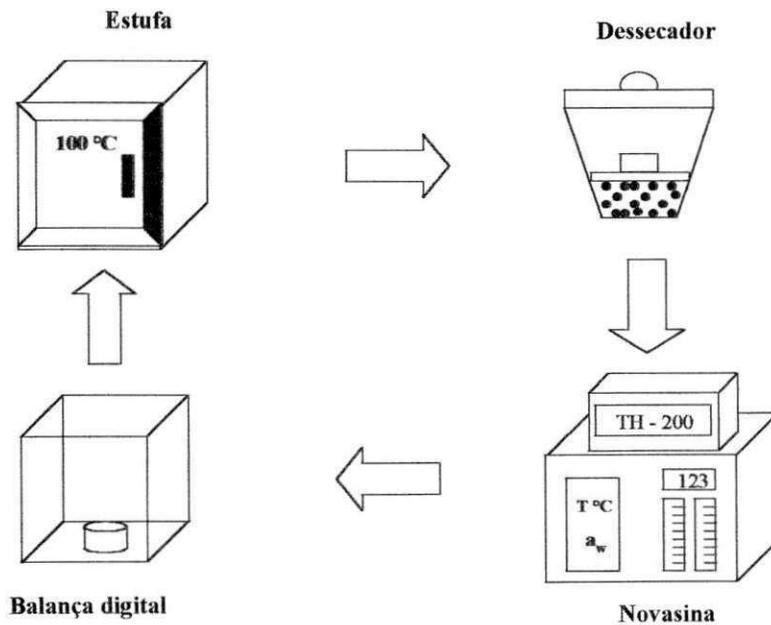


Figura 4.1. Esquema ilustrativo da metodologia usada na determinação da atividade de água e umidade de equilíbrio

4.3. Umidade de equilíbrio

A umidade de equilíbrio é a umidade da amostra quando a mesma atinge o equilíbrio com a temperatura e atividade de água correspondente. No entanto, para sua determinação utilizou-se a massa da amostra no equilíbrio (m_{eq}), ou seja, a massa da amostra em cada ponto de atividade de água com a temperatura fixa, e a massa seca da amostra (m_s), aplicando a Equação 4.1.

$$U_{eq} = \frac{m_{eq} - m_s}{m_s} \quad (4.1)$$

em que:

U_{eq} - umidade de equilíbrio da amostra, em g;

m_{eq} - massa da amostra no equilíbrio, em g;

m_s - massa seca da amostra, em g.

4.4. Isotermas de dessecção

As isotermas de dessecção do fruto foram determinadas com os dados experimentais da atividade de água e umidade de equilíbrio para as temperaturas de 20, 30, 40 e 50 °C, com o ajuste dos modelos matemáticos biparamétricos Oswin e Halsey e dos tripamétricos BET e GAB. O ajuste dos modelos foi realizado através de regressão não linear utilizando o programa computacional STATISTICA 6.0. Foram estimados os parâmetros para cada modelo em função das duas variáveis independentes: temperatura do ar e umidade de equilíbrio do fruto.

Os critérios para definição do melhor ajuste foram o coeficiente de determinação (R^2), entre os valores observados e os valores preditos, e o erro relativo médio (P) que é a média da percentagem da diferença relativa entre os valores experimentais e preditos, para os modelos testados. Este erro é calculado pela Equação 4.2.

$$P = \frac{100}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{|(M_i - Mp_i)|}{M_i}, \quad (4.2)$$

em que:

P - erro médio relativo;

n - número de valores avaliados;

M_i - valores preditos pelo modelo;

Mp_i - valores obtidos experimentalmente (ou observados).

4.5. Propriedades físicas e químicas

4.5.1. Teor de umidade

- **Materiais:**

Estufa;

Cadinhos de alumínio;

Dessecador;

Balança digital.

- **Método:**

Para determinação do teor de umidade em base úmida da variedade foi utilizado o método descrito pela AOAC (1984). A determinação foi feita em triplicata e foram utilizados cadinhos de massa conhecida. As três amostras foram previamente pesadas em uma balança digital com precisão 0,0001g e levadas para a estufa de circulação forçada durante um intervalo de tempo de quatro horas à temperatura de 100 °C. Após a secagem todas as amostras foram pesadas novamente e o teor de umidade foi calculado pela Equação 4.3:

$$TU = [(m_i - m_f) / m_i] \times 100 = (m_a / m_i) \times 100, \quad (4.3)$$

em que:

TU - umidade em base úmida, em %;

m_i - massa inicial da amostra, em g;

m_f - massa final da amostra, em g;

m_a - massa de água da amostra, em g;

m_i - massa total da amostra, em g.

4.5.2. Calor específico

- **Materiais:**

Calorímetro;

Balança digital.

Termômetro digital;

Água destilada a 2 °C;

Água destilada à temperatura ambiente.

• **Método:**

O calor específico foi determinado pelo método das misturas (Mohsenim, 1984). Utilizou-se um calorímetro construído no próprio laboratório, composto de uma garrafa térmica, isolada com lã de vidro, colocada dentro de um tubo com diâmetro conhecido e sendo vedada com uma rolha de borracha. A determinação foi feita em triplicata.

Determinou-se a capacidade calorífica do calorímetro mediante a utilização de 100g de água a temperatura ambiente que foi colocada no calorímetro. Posteriormente, agitou-se o calorímetro por um período de aproximadamente três minutos e colocou-se o termômetro digital para se obter uma temperatura (T_1). Logo após, adicionou-se mais 100g de água com temperatura previamente conhecida (T_2), igual a 2 °C, e estabeleceu-se um novo equilíbrio obtendo-se a temperatura (T_3). Assim, a capacidade calorífica do calorímetro foi determinada utilizando a Equação 4.4.

$$c_e \cdot p_1(T_1 - T_3) + C_{cal}(T_1 - T_3) = c_e \cdot p_2(T_3 - T_2), \quad (4.4)$$

em que:

C_{cal} - Capacidade calorífica do calorímetro, $\text{cal} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$;

c_e - Calor específico da água, $\text{cal} \cdot \text{g}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$;

p_1 - massa da água no estado natural, g;

p_2 - massa da água gelada, g;

T_1 - Temperatura da água ambiente, °C;

T_2 - Temperatura da água gelada, °C;

T_3 - Temperatura de equilíbrio entre T_1 e T_2 , °C.

Em seguida, uma nova temperatura de equilíbrio (T_5) foi estabelecida face a temperatura da amostra (T_4), e o calor específico da amostra foi determinado pela Equação 4.5.

$$p_m \cdot c_{em}(T_4 - T_5) = c_e (p_1 + p_2)(T_5 - T_3) + C_{cal}(T_5 - T_3), \quad (4.5)$$

em que:

C_{em} - calor específico do produto, $\text{cal} \cdot (\text{g} \cdot ^\circ\text{C})^{-1}$;

p_m - massa do produto, em g;

$(p_1 + p_2)$ - massa de água, em g;

T_4 - temperatura do produto;

T_5 - temperatura de equilíbrio entre a massa de água e o produto.

4.5.3. Cinzas

• Materiais:

Balança digital;

Mufla a 600°C;

Dessecador;

Placa aquecedora;

Cadinhos de porcelana.

• Método:

A determinação do teor de cinzas foi feita em triplicata. Colocou-se os cadinhos de porcelana na mufla a 600°C por um período de uma hora. Transferiu-se os cadinhos da mufla para o dessecador, onde foram deixados para esfriar sem ganho de umidade por 40 minutos e fez-se a pesagem posteriormente.

Pesou-se 10g da amostra processada nos cadinhos e levou-os para a placa aquecedora para serem aquecidos até que as amostras ficassem com coloração escura. Retirou-se as amostras da placa e transferiu-as para a mufla à temperatura de 600°C por um período de 24 horas. Passado este tempo, retirou-se os cadinhos da mufla para o dessecador, deixou-se esfriar durante 40 minutos e fez-se as pesagens rapidamente.

Para a determinação das cinzas utilizou-se a Equação 4.6.

$$\%Cinzas = \frac{N}{P} \times 100, \quad (4.6)$$

em que:

N - massa da amostra seca em g;

P - massa da amostra úmida em g.

4.5.4. Densidade

• **Materiais:**

Balança digital;

béquers de 50 ml;

Água destilada.

• **Método:**

A determinação da densidade foi feita em 5 repetições. Pesou-se o bécker em balança digital com precisão de 0,0001g e anotou-se sua massa. Em seguida, completou-se os seu volume com água à temperatura ambiente (28 °C) e determinou-se sua massa com água. Posteriormente, colocou-se a amostra triturada até preencher o volume e determinou-se a massa do conjunto amostra e bécker.

Para determinação da densidade, calculou-se o volume de água dividindo-se a massa de água no bécker por sua densidade. Como o volume de água era aproximadamente igual ao volume da amostra no bécker, a densidade da amostra foi determinada dividindo-se a sua massa pelo volume de água no becker.

A densidade foi determinada pela Equação 4.7.

$$D = \frac{m}{V}, \quad (4.7)$$

em que:

D - densidade da amostra, em g . cm⁻³;

m - massa da amostra, em g;

V - volume da amostra, em cm³.

4.5.5. Ácido ascórbico (vitamina C)

• **Materiais:**

Balão volumétrico de 1000ml;

Balões volumétricos de 100ml

Erlenmeyers;

Balança digital;

Pipetas;
béquers;
Bastão de vidro.

• **Reagentes:**

- **Solução de ácido oxálico a 1%:** pesou-se 12,0g de ácido oxálico monoidratado, transferiu-se para o balão volumétrico de 1000ml e completou-se o volume com água destilada;

- **Solução padrão de ácido ascórbico:** pesou-se 50,0mg de ácido ascórbico p. a., transferiu-se para o balão volumétrico de 100ml, adicionou-se junto a solução de ácido ascórbico até quase a marca e completou-se o volume com água destilada.

- **Solução de 2,6-diclorofenolindofenol-sódio (DCFI):** pesou-se aproximadamente 50,0mg de DCFI, dissolveu-se em 200ml de água destilada e filtrou-se. Dissolveu-se 42,0mg de carbonato ácido de sódio em 50ml de água destilada. Adicionou-se 50,0mg de DCFI e agitou-se até a dissolução do corante. Diluiu-se até 200ml com água destilada em balão volumétrico e filtrou-se.

• **Procedimento**

- **Padrão:**

Pipetou-se 10ml da solução padrão de ácido ascórbico em Erlenmeyer contendo 50ml de solução de ácido oxálico e titulado com solução de DCFI (volume P) até coloração rosada persistente durante 15 segundos.

- **Amostra:**

Pesou-se 10g da amostra, colocou em balão volumétrico de 100 ml completando o volume com água destilada e pipetou-se 10ml da amostra homogenizada para o Erlenmeyer contendo 50ml de solução de ácido oxálico. Em seguida, titulou-se com solução de DCFI até coloração rosada durante 15 segundos.

O cálculo do ácido ascórbico foi feito utilizando a Equação 4.8.

$$\text{mg de ácido ascórbico} / 100\text{g da amostra} = (V_x F_x 100) / A, \quad (4.8)$$

em que:

V - volume da solução de DCFI utilizada para titular a amostra;

F - fator da solução de DCFI;

A - g da amostra utilizada.

4.5.6. pH

• **Materiais:**

Potenciômetro;

Béquers.

• **Método:**

O pH foi determinado de acordo com o método potenciométrico.

• **Procedimento:**

Padronizou-se o potenciômetro com soluções de pH 7,0 e 4,0, respectivamente, e posteriormente mediu-se o pH da amostra instantaneamente no aparelho.

A determinação do pH foi feita com três repetições e os resultados foram expressos em unidades de pH.

4.5.7. Acidez total

• **Materiais:**

Balão volumétrico de 1000ml;

Balões volumétricos de 100ml

Balança digital;

Béquers;

Pipetas;

Bastão de vidro.

• **Reagente:**

- Solução de hidróxido de sódio a 0,100 N;

• Método:

A acidez foi determinada utilizando-se um potenciômetro através da técnica de titulação da amostra com solução de NaOH (A.O.A.C, 1984).

• Procedimento:

Pesou-se 10 g da amostra em um béquer e a colocou em um balão volumétrico de 100 ml, completando-se o volume com água destilada;

Titulou-se a amostra com solução de hidróxido de sódio (NaOH) utilizando-se o potenciômetro até que a solução atingisse o pH de 8,1, que é o ponto de viragem da fenolftaleína, e mediu-se o volume gasto na titulação.

Para determinação da acidez total, utilizou-se a Equação (4.9), apresentada abaixo:

$$\text{g de ácido cítrico anidro} = (V \times N \times 64 \times 100) / \text{ml da amostra}, \quad (4.9)$$

em que:

V - volume de NaOH gasto na titulação, em litros;

N - normalidade da solução de NaOH;

64 - equivalente grama do ácido cítrico anidro.

A determinação da acidez total foi feita com três repetições e os resultados foram expressos em g de ácido cítrico / 100 g da amostra.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Atividade de água e umidade de equilíbrio

Os dados experimentais da atividade de água e umidade de equilíbrio obtidos nas temperaturas de 20, 30, 40 e 50 °C para a banana variedade nanica estão apresentados na Tabela 3, anexo 1.

5.2. Isotermas de dessorção

Os valores referentes aos parâmetros, coeficientes de determinação e os erros relativos médios, encontrados nos ajustes das isotermas de dessorção, obtidos com os modelos de GAB, BET, Oswin e Halsey para a banana variedade nanica, estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros de ajuste das isotermas de dessorção encontrados nos modelos de GAB, BET, Oswin e Halsey para a banana variedade nanica

Modelos e Parâmetros		Temperaturas (°C)			
		20	30	40	50
GAB	x_m	0,191	0,161	0,130	0,120
	C	1,917	2,388	3,991	5,296
	k	1,072	1,028	1,043	1,036
	R^2 (%)	99,70	99,97	99,94	99,91
	P (%)	4,23	1,59	2,52	3,64
BET	x_m	0,287	18,511	3,625	9,245
	N	106,000	5,000	6,000	5,000
	C	0,998	0,007	0,028	0,012
	R^2 (%)	99,58	98,18	97,81	97,19
	P (%)	4,18	19,24	35,50	38,581

Oswin	<i>a</i>	0,286	0,237	0,214	0,211
	<i>b</i>	1,003	0,911	0,916	0,857
	R^2 (%)	99,47	99,83	99,53	99,42
	<i>P</i> (%)	4,25	4,48	9,90	10,03
Halsey	<i>a</i>	0,257	0,190	0,173	0,154
	<i>b</i>	0,781	0,892	0,902	0,847
	R^2 (%)	99,52	99,97	99,92	99,83
	<i>P</i> (%)	5,05	1,74	3,07	5,71

Observa-se mediante esta tabela que houve um decréscimo do conteúdo de umidade na monocamada (x_m), no modelo de GAB, com o aumento da temperatura, o que constata, neste caso, o significado físico do parâmetro (x_m) indicado pelos autores do modelo. Este resultado está de acordo com os obtidos por Moura et al. (2001) e Gabas (1998) para o conteúdo de umidade na monocamada em seus trabalhos com secagem de caju e uva, respectivamente. Analisando-se o mesmo parâmetro (x_m) no modelo de BET, verifica-se que o significado físico do parâmetro descrito pelos seus autores não ocorreu, visto que os valores tiveram uma variação ilógica do ponto de vista físico, servindo apenas como parâmetro de ajuste da equação. Entretanto pode-se constatar que o parâmetro (x_m) tem significado apenas matemático nas equações de ajuste dos modelos e não deve ser interpretado da forma que os autores das equações o interpretam.

De acordo com as variáveis analisadas obtidas para o modelo de GAB, os coeficientes de determinação (R^2) variaram entre 99,70 e 99,97%, enquanto que os erros relativos médios (*P*) variaram entre 1,59 e 4,23%. O melhor ajuste deste modelo ocorreu para a temperatura de 30 °C, com um coeficiente de determinação (R^2) de 99,97% e um erro relativo médio (*P*) de 1,59%. No entanto, observa-se que os ajustes encontrados para todas as temperaturas foram bem satisfatórios, inclusive para as temperaturas mais elevadas. Araújo (2001) determinou as isotermas de dessecção da goiaba e observou que o modelo de GAB apresentou os melhores ajustes aos dados experimentais para as

temperaturas mais elevadas entre as estudadas. O modelo de BET teve o seu ajuste mais favorável na temperatura de 20 °C com coeficiente de determinação de 99,58% e erro relativo médio de 4,18%, sendo que, para as demais temperaturas, principalmente a de 50 °C, constatou-se os piores ajustes deste modelo em comparação com os demais. Com isso, constata-se que o modelo de BET representa satisfatoriamente as isotermas de dessorção da banana variedade nanica apenas para a temperatura de 30 °C, e não deve ser utilizado na representação das isotermas de dessorção para as demais temperaturas. Para o modelo de Oswin obteve-se uma variação para os coeficientes de determinação (R^2) entre 99,42 e 99,83% e erros relativos médios (P) variando entre 4,25 e 10,03%. Este modelo teve uma boa representação em todas as temperaturas, apresentando coeficientes de determinação bem próximos dos encontrados no modelo de GAB. Por fim, verifica-se que, para o modelo de Halsey, os coeficientes de determinação (R^2) variaram entre 99,52 e 99,97%, enquanto que os erros relativos médios (P) variaram entre 1,74 e 5,71%. O melhor ajuste deste modelo ocorreu para a temperatura de 30 °C com um coeficiente de determinação (R^2) de 99,97%, que foi igual ao melhor ajuste feito com o modelo de GAB, e um erro relativo médio (P) de 1,74%. No entanto, observa-se que os ajustes encontrados com o modelo de Halsey ficaram muito próximos dos encontrados para o modelo de GAB, em que obteve-se os melhores ajustes das isotermas de dessorção.

Considerando-se o conjunto dos resultados, constata-se que o modelo de GAB foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais da variedade da fruta estudada para todas as temperaturas, seguido do modelo de Halsey. Em síntese, conclui-se que, tanto o modelo de GAB quanto o de Halsey, são os que melhor representam as isotermas de dessorção da banana variedade nanica. Observa-se ainda que o modelo de Oswin teve uma boa representação, principalmente para as temperaturas de 20 e 30 °C, apresentando coeficientes de determinação bem próximos dos encontrados no modelo de GAB e Halsey e erros inferiores a 5,0%, podendo também ser indicado para representar com boa precisão as isotermas de dessorção da banana variedade nanica nesta faixa de temperatura. O modelo de BET por sua vez teve seu melhor ajuste para a temperatura de 30 °C, não sendo indicado para a representação das isotermas desta variedade nas outras temperaturas estudadas.

Alguns autores, entre eles Lomauro et al (1985), trabalharam com o modelo de GAB, constatando que a equação de GAB representa com grande precisão as isotermas

de sorção em mais de 50% das frutas, vegetais e carnes, e é amplamente utilizada por diversos pesquisadores para a descrição do comportamento de isotermas de dessorção de diversos produtos agrícolas.

As curvas ajustadas pelos modelos de GAB, BET, Oswin e Halsey, para os dados obtidos de atividade de água e umidade de equilíbrio da banana variedade nanica, estão apresentadas nas Figuras de 1 a 4, respectivamente, para as temperaturas estudadas.

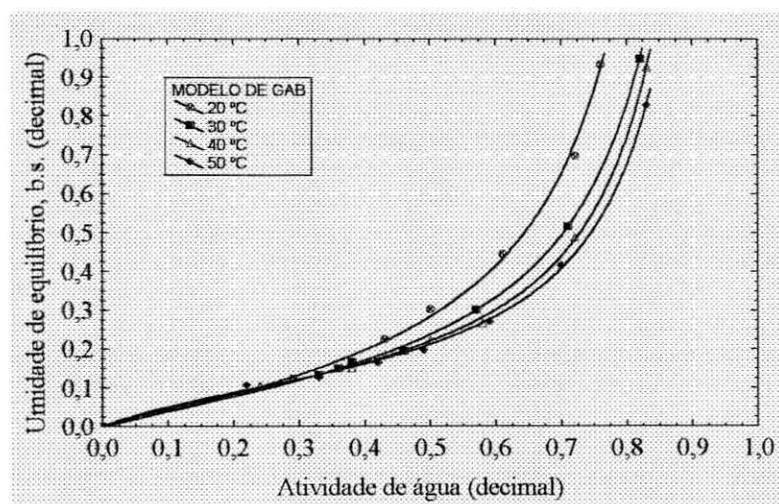


Figura 1. Isotermas de dessorção da banana variedade nanica ajustadas pelo modelo de GAB

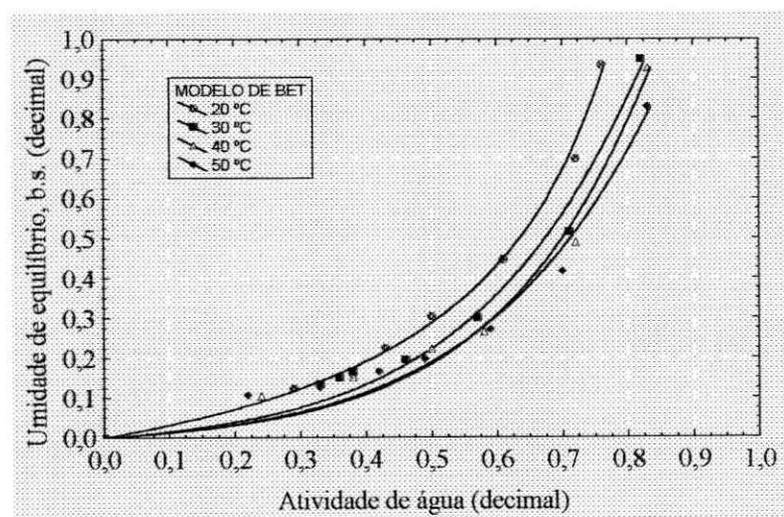


Figura 2. Isotermas de dessorção da banana variedade nanica ajustadas pelo modelo de BET

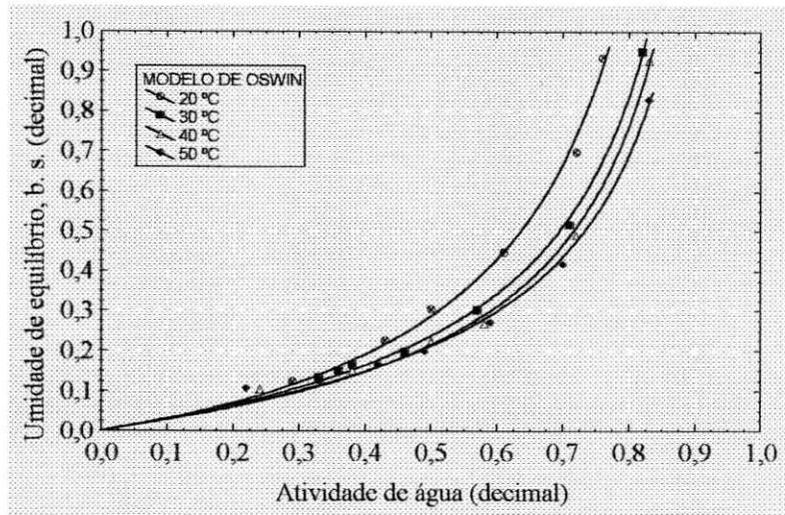


Figura 3. Isotermas de dessorção da banana variedade nanica ajustadas pelo modelo de Oswin

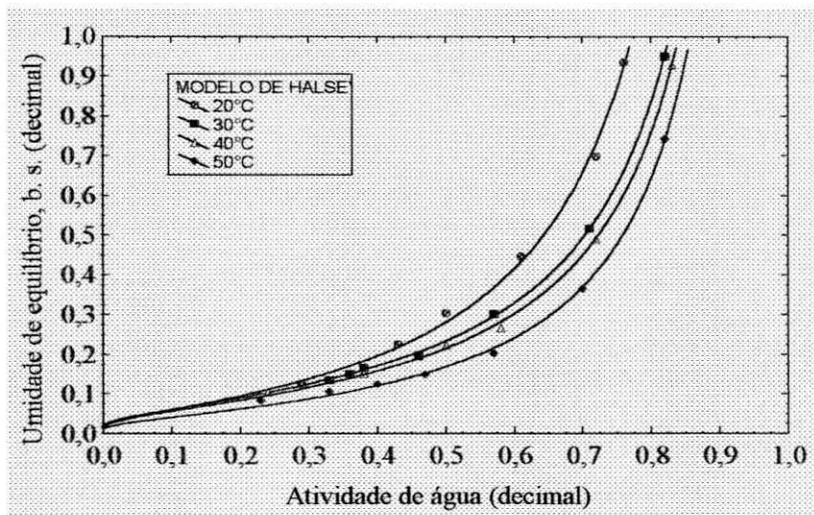


Figura 4. Isotermas de dessorção da banana variedade nanica ajustadas pelo modelo de Halsey

Em análise as Figuras de 1 a 4, tem-se que a taxa de dessorção é maior no início do processo e que a mesma diminui à medida que se aproxima da umidade de equilíbrio, ou seja, com o aumento da taxa de dessorção ocorre uma diminuição da umidade, e com

o aumento da temperatura ocorre um aumento da atividade de água para a mesma umidade de equilíbrio.

Observa-se ainda nestas Figuras que a umidade de equilíbrio aumenta com o aumento da atividade de água, para todas as temperaturas, e que ocorre uma redução da umidade de equilíbrio para a mesma atividade de água à medida que a temperatura aumenta. Esses resultados estão de acordo com os obtidos por Corrêa e Almeida (1999), Kechaou e Maalej (1999) e Corrêa et al (2001) que concluíram em seus trabalhos para sementes de algodão herbáceo, banana e polpa cítrica peletizada, respectivamente, que a umidade de equilíbrio aumenta quando há um aumento da atividade de água à mesma temperatura e que a mesma diminui quando a temperatura aumenta para a mesma atividade de água.

5.3. Propriedades físicas e químicas

Os valores obtidos para as propriedades físicas e químicas da banana variedade nanica, encontram-se apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Propriedades físicas e químicas da banana variedade nanica

Propriedades Físicas e	Valores	Unidades	Coefficiente de variação (%)
Teor de umidade	75,00 ± 0,02	%	2,40
Calor Específico	3,30 ± 0,12	kJ (kg K) ⁻¹	3,55
Cinzas	0,74 ± 0,07	%	9,50
Densidade	0,80 ± 0,02	g cm ⁻³	2,79
Ácido ascórbico (vitamina C)	4,76 ± 0,26	mg 100g ⁻¹	5,41
pH	5,13 ± 0,01	unidades	0,23
Acidez total	0,24 ± 0,03	g de ácido cítrico 100g ⁻¹ da amostra	12,39

5.3.1. Teor de umidade

O teor de umidade, em base úmida, encontrado para a banana variedade nanica foi de $75,0 \pm 0,02\%$, com um coeficiente de variação de $2,40\%$ (Tabela 2). Este mesmo valor de umidade foi apresentado por RAO (1992). O valor encontrado também está bem próximo dos valores de $74,8\%$, citado por Potter e Hotchkiss, e $73,5\%$ citado por Marin et al. (1985).

5.3.2. Calor específico

O valor do calor específico determinado pelo método da mistura direta para a banana variedade nanica, com teor de umidade de $75,0\%$, foi de $3,30 \pm 0,12 \text{ kJ (kg K)}^{-1}$, com um coeficiente de variação de $3,55\%$ (Tabela 2). Este valor está bem próximo dos encontrados na literatura. Rao (1992) apresentou um valor de $3,684 \text{ kJ (kg K)}^{-1}$ para a banana madura, acima do ponto de congelamento, e Potter e Hotchkiss (1995) apresentaram um valor de $3,349 \text{ kJ (kg K)}^{-1}$ para a fruta em condições semelhantes. Em seu trabalho, Bleinroth (1984) apresentou uma variância do calor específico entre $3,349$ e $3,558 \text{ kJ (kg K)}^{-1}$, para a banana madura.

Os erros na determinação do calor específico podem ser atribuídos, principalmente, a perda de calor do calorímetro, ao calor adicionado durante a agitação do mesmo, além dos erros decorrentes das trocas de calor entre as amostras e o ambiente, o que em parte justifica as diferenças entre determinações para o mesmo produto.

5.3.3. Cinzas

O teor de cinzas encontrado para a banana variedade nanica foi de $0,74 \pm 0,07\%$, com um coeficiente de variação de $9,50\%$ (Tabela 2).

O resultado encontrado para a variedade ficou próximo dos apresentados por Mohsenin (1986) de $0,90\%$ e Potter e Hotchkiss (1995) que obtiveram um valor de $0,80\%$ para o teor de cinzas da banana madura.

Analisando-se o resultado encontrado e comparando-o com os citados na literatura, comprova-se que a banana madura possui um baixo teor de cinzas.

5.3.4. Densidade

O valor da densidade encontrado para a banana variedade nanica foi de $0,80 \pm 0,02 \text{ g cm}^{-3}$, com um coeficiente de variação de 2,79% (Tabela 2). Este valor ficou relativamente próximo dos encontrados na literatura. Finney Jr. et al. (1967) obtiveram valores de densidade entre 0,96 e $1,01 \text{ g cm}^{-3}$ para a banana madura. Sweat, citado por Lima et al. (2000), encontrou uma densidade de $0,98 \text{ g cm}^{-3}$ para a banana madura.

5.3.5. Ácido ascórbico (vitamina C)

A determinação do ácido ascórbico da banana variedade nanica foi feita com a polpa processada durante o experimento. Obteve-se um valor do ácido ascórbico de $4,76 \pm 0,26 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$, com um coeficiente de variação de 5,41% (Tabela 2).

O valor encontrado para a banana variedade nanica diverge do citado por Macrae et al. (1993), que obtiveram uma quantidade de vitamina C de $10,0 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$ para a banana madura, e ainda mais do obtido por Moreira (1987) que apresentou um intervalo de valores variando entre 0,10 e $0,11 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$ para esta mesma variedade.

5.3.6. pH

Obteve-se um valor de $5,13 \pm 0,01$ para o pH da banana variedade nanica, com um coeficiente de variação de 0,23% (Tabela 2). O valor encontrado está próximo do determinado por Nascimento (2002) que encontrou um valor de 4,23 para o pH da banana madura.

5.3.7. Acidez total

O valor encontrado para a acidez total da banana variedade nanica foi de $0,24 \pm 0,03$ g de ácido cítrico anidro 100g^{-1} da amostra ou $0,24 \pm 0,03\%$, com um coeficiente de variação de 12,39% (Tabela 2). Este valor está relativamente próximo dos encontrados na literatura citados por Mohsenin (1986) e Jacobs (1951) que apresentaram, respectivamente, valores de 0,39 e 0,41% de ácidos na composição da banana madura.

As diferenças entre os valores das propriedades físicas e químicas da fruta estudada neste trabalho e os resultados encontrados na literatura, pode ser atribuída as diferentes condições em que foram realizadas as determinações, bem como as variedades e os estágios de maturação das frutas.

6. CONCLUSÕES

Diante dos resultados obtidos para as condições em que foi realizado o trabalho, conclui-se que:

1. O modelo de GAB foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais da banana variedade nanica, sendo o mais indicado para representar as isotermas de dessorção desta fruta;
2. Os dados experimentais ajustados com o modelo de Halsey ficaram bem próximos dos ajustados com o modelo de GAB, sendo identificado como o segundo modelo mais indicado para representar as isotermas de dessorção da banana variedade nanica;
3. O modelo de BET teve seu melhor ajuste na temperatura 30 °C, e não deve ser utilizado para a representação das isotermas de dessorção da banana variedade nanica nas temperaturas de 30, 40 e 50 °C;
4. O modelo de Oswin teve uma boa representação dos ajustes, com resultados próximos dos encontrados nos modelos de GAB e Halsey, e pode ser utilizado com boa precisão na representação das isotermas de dessorção da banana variedade nanica;
5. A taxa de dessorção é maior no início do processo de dessorção e a mesma diminui com a redução da umidade de equilíbrio do produto;
6. A umidade de equilíbrio aumentou com o aumento da atividade de água para uma mesma temperatura e decresceu à medida que aumentou a temperatura para a mesma atividade de água;
7. Com o aumento da temperatura ocorreu um aumento da atividade de água para a mesma umidade de equilíbrio;
8. A variedade da banana nanica possui as seguintes propriedades físicas e químicas: teor de umidade: 75,00%; calor específico: 3,30 kJ (kg K)⁻¹; cinzas: 0,74 %; densidade: 0,80 g cm⁻³; Vitamina C: 4,76 mg 100g⁻¹; pH: 5,13 ; Acidez total: 0,24 g de ácido cítrico anidro 100g⁻¹ da amostra.

7. BIBLIOGRAFIA

AGUERRE, R.J.; SUAREZ, C.; VIOLLAZ, P.E. The temperature dependent of isosteric heat of sorption of some cereal grains. *International Journal of Food Science and Technology*, v.23, p.141-145, 1988.

ALMEIDA, F.A.C.; FONSECA, K.S.; GOUVEIA, J.P.G. Secagem natural de gergelin e determinação da umidade de equilíbrio. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, PB, v.3, n.3, p.343-348, 1999.

ALVES, E.J. A cultura da banana: aspectos técnicos, socioeconômicos e agroindustriais. 585 p. 2. Ed. Brasília, DF, 1999.

ARAÚJO, M.A.R. Predição da cinética de secagem do fruto da goiabeira (*Psidium guajava L.*). Campina Grande: UFPB/DEAG. p.45-49, Paraíba, 2001.

ASCHERI, D.P.R. Estudo das características de adsorção de água e da estabilidade das microcápsulas de óleo essencial de laranja na seleção de material de parede. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*. v. 19, n.3, 1999.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC). Official methods of analysis. 1.v., 14 ed. Arlington, Virginia, 1984.

BLEINROTH, E.W. Manuseio pós-colheita, classificação, embalagem e transporte da banana. In: Simpósio Brasileiro sobre Bananicultura, Jaboticabal. Anais. P. 368 - 385, 1984.

BRASIL, I.M.; GUIMARÃES, A.C.L. Curso de especialização em tecnologia de processamento de sucos e polpas tropicais: química e bioquímica do processamento. Brasília: ABEAS, 1998. v. 5. 109p.

CABRAL, M.F.P. Comportamento reológico da polpa de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum Schum*). Dissertação de mestrado, Campina Grande: UFPB, agosto de 2001. 98p.

CHIRIFE, J. e IGLESIAS, H.A. Equations for fitting water sorption isotherms of foods: Part 1 - a review. *Journal of Food Technology*, v.13, p.159-174, 1978.

CORRÊA, C.P.; AFONSO Jr., P.C.; ANDRADE, E.T. Modelagem matemática da atividade de água em poupa cítrica peletizada. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.5, n.2, p.283-287, Campina Grande, PB, 2001.

CHIRIFE, J. e IGLESIAS, H.A. Equations for fitting water sorption isotherms of foods: Part 1- a review. *Journal of Food Technology*, v.13, p.159-174, 1978.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio. Lavras: ESAL/FAEPE, 1990. 320p.

CHOI, Y.; OKOS, M.R. The thermal properties of tomato juice concentrates. *Trasactions of the ASAE*, v.26, p.305-311, 1983.

CHRISTENSEN, C.M.; KAUFMANN, H. H. Microflora. In: Christensen, C. M. Storage of cereal grain and their products. St. Paul: American Association of Cereal Chemists, p.158-192, 1974.

DURAL, N. H. e HINES, A.L.A new theoretical isotherm equation for water vapor-food systems: multilayer adsorption on heterogeneous surfaces. *Journal Food Engineers*; v. 20, n. 1; p. 75-96, 1993.

FINNEY Jr., E. E.; BEN-GERA, I.; MASSIE, D. R. An objective evaluation of changes in firmness of ripening bananas using a sonic technique *Journal Food Science*, v. 32, n. 6, p. 642 - 646, 1967.

GABAS, A.L. Secagem de uva Itália em leito fixo. 135f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos: Secagem de Produtos Agrícolas) Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 1998.

GOUVEIA, J.P.G.de.; ALMEIDA, F.A.C.; SILVA, F.L.H; MURR, F.E.X. Estudo da cinética de gengibre em um secador de leito fixo. *Revista Brasileira de Armazenamento*. Viçosa, MG, v.24, n.2, p.20-27, 1999.

HEIDELBAUG, N.D. e KAREL, M. Stability of low and intermediate moisture foods. In: GOLDBLITH, S.A.; REY, L.; ROTHMAYR, W.W. *Freeze Drying and Advance Food Technology*. Academic Press, p.643-674, 1975.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Anuário Estatístico do Brasil. Paraíba, 1991.

IGLESIAS, H.A. e CHIRIFE, J. Isothermic heats of water vapor sorption on dehydrated foods. Part I. Analyses of the differential heat curves. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie*, v.9, p.116-122, 1976.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz: Métodos químicos e físicos para análise de alimentos. 3ª ed. São Paulo, v.1, 533 p., 1976.

KECHAOU, N.; MAALEJ, M. Desorption isotherms of imported banana. *Drying Technology*, New York, v.17, n.6, p.1201-1213, 1999.

JACOBS, M. B. The chemistry and technology of food and food products. New York: Inter-science publishers, Inc., v. II, 1959, n. 2.

LABUZA, T.P. Sorption phenomena in foods. *Food Technology*, n. 22, p. 263-272, 1986.

LEWIS, M.J. Physical Properties of Foods and Food Processing Systems, Chichester, Ellis Harwood Ltd., 465 p. 1987.

LIMA, A.G.B. de; NEBRA, S.A.; QUEIROZ, M.R. Aspectos científicos e tecnológicos da banana. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*. Campina Grande, v.2, n.1, p. 87 - 101, 2000.

LOMAURO, C.J.; BAKSHI, A.S.; LABUZA, T.P. Moisture transfer properties of dry and semi moist foods. *Journal of Food Science*. v. 50, p.397-400, 1985.

LOPEZ-RAMOS, A.; PALMISANO, E.; DOMBERY, A.; PIMENTAL, J.A.; FAYES, D.; GONZALEZ-MENDIZABAL, D. Thermal properties of tropical fruits and vegetables. *Revista Española de Ciencia y Tecnología de alimentos*, v.33, n.3, p.271-283, 1983.

MACRAE, R.; ROBISON, R.K.; SADLER, M.J. Encyclopedia of food science, food technology and nutrition. London: Academic press, 1993, p. 302 - 308.

MARIN, M.; RIOS, G.M.; GILBERT, H. Use of time-temperature data during fluidized bed freezing to determine frozen food properties. *Journal of Food Food Process Engineering*, v. 7, n. 4, p. 253 - 264, 1985.

MOREIRA, R.S. *Banana – Teoria e prática de cultivo*. Campinas: Fundação Cargill, 1987.

MOREIRA, R.S. *Banana – Teoria e prática de cultivo*. 2. Ed. São Paulo, SP, 1999.

MOHSEIN, N.N. *Thermal Properties of Foods and Agricultural Materials*. Gordon and Breach Science Publishers, Inc., New York, 1984.

MOHSEIN, N.N. *Physical properties of plant and animal materials*. New York: Gordon and Breach Publishers, 891p., 1986.

MOURA, R.S.F. de. Estudo da cinética de secagem de caju (*Anacardium occidentale L.*) em leito fixo. 80f. Dissertação de Mestrado em Engenharia Agrícola: Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas, Faculdade de Engenharia de Agrícola, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, Paraíba, 2001.

MURAYAMA, J.S. *Fruticultura*. 428 p. 2. Ed. Campinas, São Paulo, 1973.

NASCIMENTO, J. do. Estudo da cinética de secagem de banana (*Musa acuminata L.*). 55f. Dissertação de Mestrado em Engenharia Agrícola: Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas, Faculdade de Engenharia de Agrícola, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, Paraíba, 2002.

OLIVEIRA, R.P. da S. Determinação de propriedades físicas e de transporte de suco de acerola. 148f. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo, 2001.

OTHMER, D. Correlating vapor pressure and latent heat data. *Industry Engineering Chemistry*, v. 32, n. 6, p.841, 1940.

PENA, R.S.; RIBEIRO, C.C.; GRANDI, J.G. Aplicação de modelos matemático bi e tri-paramétricos na predição das isotermas de adsorção de umidade de guaraná (*Paullinia cupana*) em pó. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*. v. 20, n.1, 2000.

POTTER, N.N.; HOTCHKISS, J.H. Food Science. Fifth Edition. New York: Chapman & Hall. 1995, p. 169.

PRADO, M.E.T.; ALONSO, L.F.T.; SALES, A.F.; PARK, K.J. Isotermas de sorção: determinação experimental e avaliação de modelos matemáticos. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*. v. 19, n.1, 1999.

RAO, M.A. Transport and storage of foods products. *Handbook of Engineering*. New York: Marcel Dekker, Inc. 1992. p. 199 - 246.

SANTINI, A.P. Estudo da Secagem e da Inativação de Levedura(*S.cerevisiae*), Dissertação de Mestrado, Santa Catarina, 1996.

SÁ, S.N. de. Estudo da cinética da secagem de leveduras (*s. cerevisiae*) para uso como fonte protéica na ração animal. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, PB, 2002.

SOPADE, P.A. e AJISEGIRI, E.S. Moisture sorption study on nigerian foods: maize and sorghum. *Journal of Food Process Engineering*, v.17, n.1, p.33-56, 1994.

SWEAT, V.E. Experimental Values of Thermal Conductivity of Selected Fruits and Vegetables. *Journal of Food Science*, v.39, p. 1080-1083, 1974.

TREYBALL, R.B. Drying. In: *Mass Transfer operations*. New York, Mc Graw Hill, p.569-75, 1968.

VILLAR, G.C. Estudo do desempenho de um secador convectivo de bandejas para a secagem de banana: análise da influência de variáveis operacionais. Campina Grande: UFPB/DEQ, Dissertação de Mestrado, 117p., 1999.

YOSHIDA, C.M.P. Cinética de secagem do milho superdoce. Campinas: UNICAMP-SP, Dissertação de Mestrado. 149p., 1997.

ANEXOS

ANEXO - 1

Tabela 3. Dados obtidos de atividade de água e umidade de equilíbrio para a variedade da banana nanica

Temperaturas (°C)							
20		30		40		50	
a_w	U_{eq}	a_w	U_{eq}	a_w	U_{eq}	a_w	U_{eq}
0,76	0,94	0,82	0,95	0,83	0,93	0,83	0,83
0,72	0,70	0,71	0,52	0,72	0,49	0,7	0,42
0,61	0,45	0,57	0,30	0,58	0,27	0,59	0,27
0,5	0,30	0,46	0,20	0,5	0,22	0,49	0,20
0,43	0,23	0,38	0,17	0,38	0,15	0,42	0,17
0,38	0,16	0,36	0,15	0,24	0,11	0,33	0,13

 a_w - atividade de água U_{eq} - umidade de equilíbrio

ANEXO - 2**PLANO DE TRABALHO E CRONOGRAMA DE ATIVIDADES PROPOSTAS****PLANO DE TRABALHO PROPOSTO:**

1. Revisão bibliográfica
2. Determinação das isotermas de dessorção
3. Determinação das propriedades físicas
4. Determinação das propriedades químicas
5. Relatório final

CRONOGRAMA DE ATIVIDADES PROPOSTAS

Atividades	Meses			
	Junho	Julho	Agosto	Setembro
1	X			
2	X	X		
3		X	X	
4			X	X
5				X

ANEXO - 3**ATIVIDADES E CRONOGRAMA REALIZADOS****ATIVIDADES REALIZADAS:**

1. Revisão bibliográfica.
2. Determinação das isotermas de dessorção.
3. Determinação das propriedades físicas.
4. Determinação das propriedades químicas.
5. Análise dos resultados
6. Relatório Final

CRONOGRAMA DE ATIVIDADES REALIZADAS

Atividades	Meses			
	Junho	Julho	Agosto	Setembro
1	X			
2		X		
3		X	X	
4			X	X
5				X
6				X

Carga horária semanal: 20 horas;

Carga horária mensal: 80 horas;

Carga horária total: 320 horas;

Término do estágio: Outubro de 2002.