UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

JONNAHTA MONTEIRO CARDOSO

SECAGEM EM CAMADA DELGADA DA BANANA NANICÃO EM DIFERENTES ESTÁDIOS DE MATURAÇÃO

BELÉM
2012

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

JONNAHTA MONTEIRO CARDOSO

SECAGEM EM CAMADA DELGADA DA BANANA NANICÃO EM DIFERENTES ESTÁDIOS DE MATURAÇÃO

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Pará, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Orientador:
Prof. Dr. Rosinelson da Silva Pena

BELÉM
2012

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ

INSTITUTO DE TECNOLOGIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

JONNAHTA MONTEIRO CARDOSO

SECAGEM EM CAMADA DELGADA DA BANANA NANICÃO EM DIFERENTES ESTÁDIOS DE MATURAÇÃO

BANCA EXAMINADORA:

_____

Prof. Dr. Rosinelson da Silva Pena
(FEA/ITEC/UFPA – Orientador)

_____

Prof. Dr. Antonio Manoel da Cruz Rodrigues
(FEA/ITEC/UFPA – Membro)

_____

Dr^{a}. Ana Vânia Carvalho
(EMBRAPA Amazônia Oriental – Membro)

DEDICATÓRIA

Dedico às pessoas que tomaram partido e simpatia por esse trabalho, e ao longo desse caminho de muito aprendizado, tanto aquelas que tiveram paciência e bondade para ensinar, como aquelas que ficaram ao meu lado nos momentos mais difíceis. Sendo assim, aos Professores, Amigos e Minha Família. Aos que ajudaram a construir este resultado. Compartilho esta vitória, com a benção de Deus.

AGRADECIMENTO

A Deus, porque merece agradecimentos todos os dias.

A minha mãe, que até hoje não mede esforço algum por cada um de seus filhos, às suas preocupações e sacrifícios, rederam filhos que aprazem seu coração.

A meu pai que apesar de não estar neste singelo momento, me deixou o exemplo de um grande homem, grande líder.

Aos meus irmãos e minha irmã por acreditarem em mim e me apoiarem com palavras boas e promissoras, tanto em momentos bons quanto ruins.

A minha noiva pela dedicação, carinho e amor nos momentos que precisei.

Aos meus amigos e amigas de Castanhal, amigos de infância, e aqueles que me incentivavam a conquistar esta vitória.

A Universidade Federal do Pará, que através do Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, possibilitou realizar este curso de pós-graduação e me concedeu valioso conhecimento.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela ajuda financeira, através de seu programa de bolsas.

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Pará (FAPESPA) pelo apoio financeiro a esta pesquisa. Meu muito obrigado

Ao Professor Dr. Antonio Manoel da Cruz Rodrigues, por acompanhar o trabalho e fazer prosperá-lo, tanto com ideias boas e eficientes, quanto na construção do equipamento de secagem e acompanhamento de algumas etapas chaves no andamento deste trabalho.

À Professora Dr^{a}. Ana Vânia Carvalho, por acompanhar o trabalho, e também oferecer boas ideias e opiniões importantes para conclusão deste trabalho.

Ao meu orientador Professor Dr. Rosinelson da Silva Pena, que ensinou e me guiou com muita sabedoria e dedicação. Mostrou-me autoridade com o P maiúsculo de Professor, Pessoa e Palavra, e muita Paciência. Os sábios educam pelo exemplo e agradeço por todos os que me foram por ele concedidos e guardarei com muito carinho.

Aos Professores do PPGCTA, que muito contribuíram para a construção do conhecimento que recebi. Meu muito Obrigado.

Aos colegas e amigos de mestrado, especialmente aqueles que acabaram acompanhando, participando do trabalho e que estiveram ao meu lado no decorrer do mestrado, Diego, Erla, Liana, Valena, Stephano, Fabrícia, Heloisa, Bruna, Bruno, Natácia, Josilene, Rafaelle, Raphaela, Danilo, Rafael, Lúcia, Mayara, Leilane, Gleice, Fernanda, Aline, Thais, Milena.

A todos os professores, funcionários e colegas da UFPA, que ajudaram de forma direta ou indireta na conclusão deste trabalho.

RESUMO

O objetivo do trabalho foi avaliar o efeito do estádio de maturação da fruta (2 a 9°Brix) e da temperatura de secagem (50 a 70°C), sobre a cinética da secagem em camada delgada da banana Nanicão (*Musa ssp*. AAA) e sobre parâmetros de qualidade das farinhas obtidas. Para isso foi utilizado um planejamento fatorial a três níveis (3^2), com triplicata no ponto central. A secagem foi realizada nas bananas sem casca e em rodelas de 4 mm de espessura, em secador de leito fixo, com velocidade do ar de secagem de 1,5 m/s. Foram avaliados os ajustes de dez modelos matemáticos aos dados de secagem. Isotermas de adsorção e dessorção de umidade foram construídas para avaliar o comportamento higroscópico das farinhas de banana, nos diferentes estádios de maturação, e seis modelos matemáticos foram ajustados aos dados de sorção. O aumento da temperatura provocou redução do tempo de secagem (5,9 a 2,7 h), na umidade (9,84 a 4,72%), na atividade de água (0,36 a 0,11), nos açúcares redutores (5,24 a 1,14%) e totais (13,17 a 1,79%) da farinha de banana. Por outro lado, foi observado o aumento da difusividade específica ($1,57 \times 10^{-8}$ a $2,82 \times 10^{-8}$ m^2/s) da secagem. O aumento da temperatura de secagem provocou também o escurecimento da farinha. O estádio de maturação provocou efeito significativo ($p<0,05$) apenas sobre os teores de açúcares redutores e totais da farinha, o qual foi atribuído ao próprio estádio de maturação da banana. Os modelos de Page, Page modificado, Logarítmico, Midilli, Aproximação da difusão, Dois termos e Verma apresentaram os melhores ajustes aos dados de secagem da banana Nanicão, nas diferentes condições estudadas. Todas as farinhas apresentaram isotermas do tipo II, e de acordo com as mesmas, suas estabilidades microbiológicas ($a_w<0,6$) estão garantidas para níveis de umidade inferiores a 13 g H_2O/100 g matéria seca. Os modelos de Oswin, Smith e GAB foram os mais eficientes na predição das isotermas de adsorção e dessorção de umidade da farinha de banana Nanicão, nas condições estudadas.

Palavras-Chave: *Musa ssp*. AAA, leito fixo, propriedades, modelagem, higroscopicidade.

ABSTRACT

The aim of this work was to evaluate the effect of ripening stages (2 to 9°Brix) and the drying temperature (50 to 70°C) on the thin layer drying kinetics of banana variety Nanicão (*Musa spp*. AAA) and on the quality parameters of the flours obtained. For this, was used a factorial design at three levels (3^2), with triplicate in the center point. Drying was carried in peeled bananas, cut into slices 4 mm in thickness, using fixed-bed dryer with the 1.5 m/s air velocity. 10 mathematical models were fitting on experimental drying dates. Moisture adsorption and desorption isotherms were obtained to evaluate the hygroscopic behavior of banana flour, at different ripening stages, and six mathematical models were fitted to sorption data. The increase in temperature resulted in a decrease in drying time (5.9 to 2.7 h) and moisture (9.84 to 4.72%), water activity (0.36 to 0.11), reducing sugars (5.24 to 1.14%) and total sugars (13.17 to 1.79%) of banana flour. Furthermore, it was observed the increase in specific diffusivity (1.57×10^{-8} to $2.82 \times 10^{-8} m^2/s$) of drying. The increase in drying temperature also caused a darkening of the flour. The stage of ripening presented significant effect ($p<0.05$) only on the concentration of reducing and total sugars of the flour. Page, Modified Page, Logarithmic, Midilli, Approximation of diffusion, Two terms and Verma models were able to predict the drying kinetic of Nanicão banana, under all conditions. The banana flours exhibited Type II isotherms, and the product should not exceed 13 g H_2O/100 g dry base ($a_w<0.6$) in order to ensure the microbiological stability. Finally, the data fit showed that Oswin, Smith and GAB equations were able to predict efficiently both adsorption and desorption isotherms of Nanicão banana flour at the entire range of tested aw.

Keywords: *Musa ssp*. AAA, fix bed, properties, modeling, hygroscopicity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Representação esquemática da redução do teor de amido e acúmulo de açúcares durante a evolução da coloração amarela da casca de banana. 21
Figura 2. Esquema de um secador de leito fixo (camada delgada). 24
Figura 3. Classificação das isotermas de sorção, segundo a IUPAC (1985). 32
Figura 4. Classificação do perfil de histerese adsorção/dessorção segundo a estrutura do poro. 33
Figura 5. Banana utilizada no estudo nos três diferentes estádios de maturação: (A) Estádio 1 (2°Brix); (B) Estádio 2 (5°Brix); (C) Estádio 3 (8°Brix). 35
Figura 6. Imagens do secador de leito fixo utilizado na pesquisa: **(A)** frontal; **(B)** lateral/controles; **(C)** interior/ bandeja (722cm^2); **(D)** esquema do sistema: bandeja (1); termômetro do leito fixo (2); entrada de ar (3); placa de distribuição de calor (4): hélice de ventilação (a), resistência (b), termopar do controle de aquecimento (c); ajuste de temperatura (5); ajuste fino de temperatura (6); chave de acionamento do sistema (7); controle do motor de ventilação (8); saída de ar (9). 36
Figura 7. Etapas realizadas no beneficiamento da banana Nanicão. 38
Figura 8. Superfície de resposta para a variável umidade da farinha de banana. 47
Figura 9. Superfície de resposta para a variável atividade de água da farinha de banana. 49
Figura 10. Representação do sistema de cor L* a* b* 50
Figura 11. Superfície de resposta para a variável luminosidade (L*) da farinha de banana. 51
Figura 12. Superfície de resposta para a variável coordenada de cromaticidade a* da farinha de banana. 53
Figura 13. Superfície de resposta para a variável difusividade efetiva da secagem da banana. 55
Figura 14. Superfície de resposta para a variável de tempo de secagem da banana Nanicão. 57
Figura 15. Superfície de resposta para a variável teor de açúcares redutores da farinha de banana. 58
Figura 16. Superfície de resposta para a variável teor de açúcares totais da farinha de banana. 60

Figura 17. Endotermas de gelatinização dos amidos das farinhas de banana verde (estádio de maturação 1) secas a 50°C e 70°C. 70
Figura 18. Curvas de secagem obtidas em triplicata para a banana no estádio de maturação 2 a 60°C. 72
Figura 19. Curvas de secagem para a banana Nanicão no estádio de maturação 1. 72
Figura 20. Curvas de secagem para a banana Nanicão no estádio de maturação 2. 73
Figura 21. Curvas de secagem para a banana Nanicão no estádio de maturação 3. 73
Figura 22. Curvas de secagem para a banana Nanicão a 50°C. 74
Figura 23. Curvas de secagem para a banana Nanicão a 60°C. 74
Figura 24. Curvas de secagem para a banana Nanicão a 70°C. 75
Figura 25. Correlação entre os valores de MR experimentais e preditos pelo modelo de Page: (A) estádio de maturação 1, (B) estádio de maturação 2 e (C) estádio de maturação 3. 81
Figura 26. Correlação entre os valores de MR experimentais e preditos pelo modelo de Page modificado: (A) estádio de maturação 1, (B) estádio de maturação 2 e (C) estádio de maturação 3. 82
Figura 27. Correlação entre os valores de MR experimentais e preditos pelo modelo de Logarítmico: (A) estádio de maturação 1, (B) estádio de maturação 2 e (C) estádio de maturação 3. 83
Figura 28. Correlação entre os valores de MR experimentais e preditos pelo modelo de Midilli: (A) estádio de maturação 1, (B) estádio de maturação 2 e (C) estádio de maturação 3. 84
Figura 29. Correlação entre os valores de MR experimentais e preditos pelo modelo de Aproximação da difusão: (A) estádio de maturação 1, (B) estádio de maturação 2 e (C) estádio de maturação 3. 85
Figura 30. Correlação entre os valores de MR experimentais e preditos pelo modelo de Dois Termos: (A) estádio de maturação 1, (B) estádio de maturação 2 e (C) estádio de maturação 3. 86
Figura 31. Correlação entre os valores de MR experimentais e preditos pelo modelo de Verma: (A) estádio de maturação 1, (B) estádio de maturação 2 e (C) estádio de maturação 3. 87

Figura 32. Curvas de secagem da banana Nanicão no estádio de maturação 1, experimentais e preditas pelos modelos de Page, Page modificado e Midilli. 88
Figura 33. Curvas de secagem da banana Nanicão no estádio de maturação 2, experimentais e preditas pelos modelos de Page, Page modificado e Midilli. 89
Figura 34. Curvas de secagem da banana Nanicão no estádio de maturação 3, experimentais e preditas pelos modelos de Page, Page modificado e Midilli. 90
Figura 35. Isotermas de adsorção de umidade das farinhas de banana Nanicão, nos três estádios de maturação. 93
Figura 36. Isotermas de dessorção de umidade das farinhas de banana Nanicão, nos três estádios de maturação. 93
Figura 37. Isotermas de sorção de umidade das farinhas de banana Nanicão, nos estádios de maturação 1 (A), 2 (B) e 3 (C). 94
Figura 38. Correlação entre umidades de sorção experimentais e preditos pelo modelo de Oswin, para as farinhas de banana nos estádios de maturação 1 (A), 2 (B) e 3 (C). 97
Figura 39. Isotermas de adsorção de umidade das farinhas de banana Nanicão, nos três estádios de maturação, experimentais e preditas pelos modelos de Oswin, Smith e GAB. 98
Figura 40. Isotermas de dessorção de umidade das farinhas de banana Nanicão, nos três estádios de maturação, experimentais e preditas pelos modelos de Oswin, Smith e GAB. 99

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Sistema de colheita para o subgrupo Cavendish. 19
Tabela 2. Estádio de maturação da banana. 21
Tabela 3. Parâmetros físico-químicos da farinha de banana cultivar Prata obtida em diferentes temperaturas. 28
Tabela 4. Matriz experimental do planejamento fatorial 3^2 utilizado. 37
Tabela 5. Modelos teóricos, semi-empíricos e empíricos ajustados aos dados de secagem em camada delgada da banana Nanicão. 39
Tabela 6. Modelos utilizados na predição das isotermas de sorção das farinhas de banana. 44
Tabela 7. Resultados dos experimentos do planejamento fatorial 3^2 utilizado. 46
Tabela 8. Análise de variância para a variável umidade da farinha de banana. 47
Tabela 9. Análise de variância para a variável atividade de água da farinha de banana. 48
Tabela 10. Análise de variância para a variável luminosidade (L*) da farinha de banana. 51
Tabela 11. Análise de variância para a variável coordenada de cromaticidade a* da farinha de banana. 52
Tabela 12. Análise de variância para a variável coordenada de cromaticidade b* da farinha de banana. 53
Tabela 13. Análise de variância para a variável difusividade efetiva da secagem da banana. 54
Tabela 14. Análise de variância para a variável tempo de secagem da banana Nanicão. 56
Tabela 15. Análise de variância para a variável teor de açúcares redutores da farinha de banana. 58
Tabela 16. Análise de variância para a variável teor de açúcares totais da farinha de banana. 60
Tabela 17. Análise de variância para a variável índice de absorção de água (IAA) da farinha de banana. 62
Tabela 18. Análise de variância para a variável índice de solubilidade em água (ISA) da farinha de banana. 63

Tabela 19. Avaliação granulométrica das farinhas de banana Nanicão obtidas nas diferentes condições de secagem. 64
Tabela 20. Análise de variância para a percentagem da farinha de banana passante na peneira de 60 mesh. 65
Tabela 21. Análise de variância para a percentagem da farinha de banana passante na peneira de 200 mesh. 65
Tabela 22. Composição das farinhas de banana Nanicão nos diferentes estádios de maturação. 66
Tabela 23. Propriedades de gelatinização dos amidos das farinhas de banana verde (estádio de maturação 1) secas a 50°C e 70°C. 70
Tabela 24. Dados de secagem da banana Nanicão nos diferentes estádios de maturação e temperatura de secagem. 71
Tabela 25. Parâmetros dos modelos obtidos a partir dos ajustes aos dados experimentais de secagem. 77
Tabela 26. Dados de adsorção e dessorção de umidade da farinha de banana Nanicão nos estádios de maturação 1, 2 e 3. 92
Tabela 27. Parâmetros do ajuste da equação de BET linearizada aos dados de sorção das farinhas de banana. 95
Tabela 28. Parâmetros de ajuste dos modelos matemáticos aos dados de sorção de umidade das farinhas de banana Nanicão, nos três estádios de maturação. 96

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 14
1.1 OBJETIVO GERAL 16
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 16
2 REVISÃO DA LITERATURA 17
2.1 BANANA 17
2.1.1 Aspectos gerais 17
2.1.2 Características agronômicas da variedade Nanicão 18
2.1.3 Características nutricionais, maturação e amadurecimento da banana 20
2.2 SECAGEM 21
2.2.1 Secagem em leito fixo 23
2.2.2 Modelagem 24
2.3 FARINHA DE BANANA 26
2.3.1 Considerações gerais 26
2.3.2 Composição da farinha de banana 27
2.3.3 O amido e seus benefícios nutricionais 28
2.3.4 Isotermas de sorção de umidade 29
3 MATERIAL E MÉTODOS 35
3.1 MATERIAL 35
3.1.1 Matéria-prima 35
3.1.2 Equipamento 35
3.2 MÉTODOS 37
3.2.1 Secagem da banana Nanicão 37
3.2.1.1 Planejamento experimental 37
3.2.1.2 Modelagem matemática da secagem 38
3.2.1.3 Cálculo da difusividade efetiva 40
3.2.2 Análises físico-químicas das farinhas de banana 40
3.2.3 Análises físicas da farinha 41
3.2.3.1 Avaliação granulométrica 41
3.2.3.2 Índice de absorção de água (IAA) 41
3.2.3.3 Índice de solubilidade em água (ISA) 42
3.2.3.4 Cor Instrumental 42
3.2.3.5 Atividade de água 42

3.2.3.6 Calorimetria diferencial de varredura (DSC) 42
3.2.4 Avaliação higroscópica das farinhas 43
3.2.4.1 Determinação da monocamada 43
3.2.4.2 Modelagem matemática das isotermas 44
3.2.5 Análise estatística 44
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 46
4.1 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL DA SECAGEM 46
4.2 AVALIAÇÃO GRANULOMÉTRICA DAS FARINHAS 64
4.3 CARACTERIZAÇÃO DAS FARINHAS DE BANANA 66
4.3.1 Composição das farinhas de banana 66
4.3.2 Análise térmica das farinhas de banana 69
4.4 CINÉTICA DE SECAGEM DA BANANA NANICÃO 71
4.4.1 Efeito da temperatura sobre a secagem da banana 72
4.4.2 Influência do estádio de maturação da banana sobre a secagem 74
4.4.3 Modelagem da secagem 75
4.5 AVALIAÇÃO HIGROSCÓPICA DAS FARINHAS 91
4.5.1 Isotermas de sorção de umidade das farinhas de banana 91
4.5.2 Predição das isotermas de sorção de umidade das farinhas de banana 95
5. CONCLUSÃO 100
REFERÊNCIAS 101

1 INTRODUÇÃO

A banana é uma das frutas mais consumidas no mundo, e por ser cultivada na grande maioria dos países tropicais é considerada a principal fonte de alimentação e renda em muitos países (BOTREL et al., 2002). O Brasil, um dos maiores produtores mundiais de banana, é também um dos que apresenta maior desperdício. Em certas regiões a perda chega a 60% da produção, pois a fruta apresenta vida útil muito curta (IZIDORO, 2007).

O interesse no grau de amadurecimento da fruta permite a redução de perdas e o seu processamento adequado (TADINI; DITCHFIELD, 2002), pois durante o amadurecimento da banana, muitas transformações físicas, físico-químicas e químicas que ocorrem, são importantes para monitorar o processo e caracterizar os estádios de maturação (NASCIMENTO JUNIOR et al., 2008).

Na banana verde, o principal componente é o amido, que pode representar de 55 a 93% do teor de sólidos totais (FASOLIN et al., 2007); destacando-se o teor de amido resistente, que pode ser de 25 a 33% na farinha da polpa de diferentes cultivares (IZIDORO, 2007). O amido resistente tem sido intensamente estudado nos últimos anos devido aos benefícios à saúde humana (FREITAS; TAVARES, 2005; ELIASSON, 2006).

As cultivares de banana do grupo AAA como a Nanica, Nanicão e Grande Naine tem sido utilizadas principalmente para exportação, a variedade Nanicão vem substituindo a Nanica, principalmente, no estado de São Paulo, por ser mais produtiva, apresentar menor número de cachos defeituosos, maior comprimento dos frutos, maior resistência à seca, maior resposta à adubação, maior valor pelo cacho exportado e consequentemente maior lucro para o produtor (BRASIL, 2004). Essas características favorecem preferência tanto para consumo *in natura* quanto para industrialização.

Uma preocupação central da indústria de alimentos é a conservação a fim de estender a vida útil, com a garantia de segurança e qualidade do alimento, além da viabilidade econômica do processo. Durante a última década, muitos avanços tecnológicos na secagem têm surgido com o objetivo de minimizar a degradação de vários atributos de qualidade de produtos alimentares durante a secagem. Entre um número enorme de alimentos que necessitam de secagem, frutas e vegetais têm recebido muita atenção, e tem sido repetidamente relatado que estes materiais

contêm uma grande variedade de constituintes que são requeridos para exercer benefícios à saúde (DEVAHASTIN; NIAMNUY, 2010).

Considerando as propriedades nutricionais da banana seca em termos energéticos e levando-se em consideração que a produção mundial de banana em 2010 foi de 102 milhões de toneladas, sendo o Brasil o quinto maior produtor, com aproximadamente sete milhões de toneladas (FAO, 2012), vê-se a secagem como um método de conservação importante para o produto, possibilitando o seu emprego na formulação de produtos derivados.

A obtenção de produtos elaborados com banana tem sido direcionada para farinha de banana verde e farinha ou pó de banana verde e madura. A remoção da umidade previne o crescimento e a reprodução de micro-organismos que causam deterioração e minimiza reações indesejáveis. Favorece também a redução de peso e volume, que possibilita a redução da embalagem, do volume de armazenagem e do custo de transporte do produto, além de possibilitar o armazenamento do produto à temperatura ambiente (LIMA; NEBRA; QUEIROZ, 2000).

A secagem em camada delgada apresenta baixo custo, sua eficiência está ligada ao controle dos parâmetros envolvidos no processo. A velocidade e o tempo de secagem são afetados pelas propriedades físicas do produto (tamanho e forma), pela disposição do produto no equipamento de secagem (espessura da camada do produto), condições de secagem (temperatura, umidade relativa e velocidade do ar), características do equipamento de secagem (mecanismo de transferência de calor), composição química e estrutura do produto (PINHEIRO, 2004). No caso da farinha de banana verde é interessante optar por condições de secagem que valorizem tanto as características nutricionais quanto as tecnológicas para favorecer a qualidade do alimento e facilitar a sua aplicabilidade comercial.

1.1 OBJETIVO GERAL

Estudar a secagem em camada delgada da banana Nanicão (*Musa sp*. AAA), em diferentes estádios de maturação, priorizando a manutenção das características nutricionais e das propriedades tecnológicas das farinhas produzidas.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar a influência da temperatura de secagem e do estádio de maturação da banana sobre parâmetros nutricionais e tecnológicos da farinha de banana Nanicão obtida por secagem em camada delgada;
- Avaliar o ajuste de dez modelos matemáticos aos dados de secagem, para identificar aqueles que serão capazes de predizer a cinética de secagem da banana Nanicão, nas diferentes condições estudadas;
- Determinar a composição das farinhas de banana Nanicão para os três estádios de maturação estudados;
- Avaliar o comportamento higroscópico das farinhas produzidas através das isotermas de adsorção e dessorção de umidade, obtidas a 25°C;
- Avaliar o ajuste de seis modelos matemáticos aos dados de sorção de umidades da farinha de banana Nanicão, nos três estádios de maturação, para identificar aqueles que serão capazes de predizer as isotermas de adsorção e dessorção de umidade dos produtos.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 BANANA

2.1.1 Aspectos gerais

A origem da bananeira é incerta. Admite-se que seja originária do Oriente, sul da China ou Indonésia. Há informações de sua presença na Índia, Malásia e Filipinas, há mais de 4000 anos. No Brasil existe antes mesmo de seu descobrimento. Seu fruto é apreciado por pessoas de todas as idades que a consomem *in natura*, frita, assada, cozida, em calda, na forma de doces caseiros ou de produtos industrializados. Além disso, com o crescimento da população e desenvolvimento da capacidade aquisitiva dos povos, houve o aumento do consumo deste alimento em todo o mundo (LIMA, 2000).

A bananeira é uma planta herbácea, caracterizada pela exuberância de suas formas e dimensões das folhas. Possui tronco curto e subterrâneo, denominado de rizoma, que constitui um órgão de reserva, onde se inserem as raízes adventícias e fibrosas. O pseudocaule, resultante da união das bainhas foliares, termina com uma copa de folhas longas e largas, com nervura central desenvolvida. Do centro da copa emerge a inflorescência, com brácteas ovaladas de coloração normalmente roxo-avermelhada, em cujas axilas nascem as flores (ALVES, 1999).

Cada grupo de flores reunidas da bananeira forma uma penca (mão), com um número variável de frutos (dedos), originados por partenocarpia. Os frutos inicialmente são verdes, tornando-se amarelos com a maturação. Posteriormente, começam a escurecer e nesse estádio diz-se que a planta morreu. Entretanto, durante o desenvolvimento, há formação de rebentos (filhos), que surgem na base da planta, possibilitando a constante renovação e a vida permanente dos bananais (ALVES, 1999).

Os fatores que influenciam no crescimento e produção das bananeiras classificam-se em internos e externos. Os fatores internos estão relacionados com as características genéticas da variedade utilizada, enquanto os externos referem-se às condições edáficas (solo), ambientais (clima), agentes bióticos e à ação do homem interferindo nos fatores edáficos e climáticos (EMBRAPA, 2004).

Embora exista um número expressivo de variedades de banana no Brasil, quando são considerados aspectos como preferência dos consumidores, produtividade, tolerância a pragas e doenças, resistência à seca, porte e resistência ao frio, restam poucos cultivares com potencial agronômico para serem usados

comercialmente. Os cultivares mais difundidos no Brasil são: Prata, Pacovan, Prata Anã, Maçã, Mysore, Terra e D'Angola, do grupo AAB, e Nanica, Nanicão e Grande Naine, do grupo AAA, utilizadas principalmente para exportação. Em menor escala, são plantadas a Figo Cinza, Figo Vermelho, Ouro, Caru Verde e Caru Roxa. Os cultivares Prata e Pacovan são responsáveis por aproximadamente 60% da área cultivada no Brasil (OLIVEIRA et al., 1999).

A bananeira é cultivada em todos os estados da federação brasileira, desde a faixa litorânea até os planaltos do interior (FASOLIN et al., 2007). De acordo com dados de produção de 2006 a 2010, o Pará destaca-se como o quinto maior produtor brasileiro de banana, com uma produção média de 543.974 toneladas da fruta, sendo São Paulo o maior produtor brasileiro, com uma produção média de 1.202.294 toneladas (IBGE, 2010). Calcula-se que a área plantada no País seja de 496.460 hectares, de forma que a fruta é ofertada no mercado interno, em quantidade e qualidade, de janeiro a dezembro (TORRES et al., 2005; IBGE, 2010).

2.1.2 Características agronômicas da variedade Nanicão

A banana Nanicão pertence ao subgrupo Cavendish e é uma mutação do cultivar Nanica, que ocorreu no estado de São Paulo (MOREIRA; SAES, 1984). Apresenta porte que varia entre 3,0 a 3,5 m, pseudocaule com manchas de cor castanha e preta, em fundo verde-oliva, folhas verde-escuras na face superior e verde mais claro na inferior, devido à serosidade. O cacho é cilíndrico, de porte médio a grande, pesando de 25 a 50 kg; possui de 10 a 15 pencas com 16 a 34 frutos, totalizando 150 a 290 dedos (ALVES, 1999).

Os frutos da banana Nanicão, com 15 a 26 cm, pesam de 90 a 290 g e são mais curvos que os da Nanica. Estas características satisfazem as exigências do comércio internacional. Os frutos da cultivar Nanicão são bastante utilizados no processamento industrial (ALVES, 1999). As bananas do subgrupo Cavendish apresentam características como: boa produtividade, maior resistência ao frio comparado a outros grupos, boa aceitação junto aos consumidores e tolerância ao mal-do-Panamá – doença fúngica (MAGALHÃES, 2002); porém a variedade Nanicão é altamente susceptível ao mal-de-Sigatoka (BRASIL, 2004).

Em resposta, uma nova variedade de banana do tipo Nanica criada pelo Instituto Agronômico de Campinas (IAC), da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios, da Secretaria de Agricultura e Abastecimento de São Paulo, é

resistente às Sigatokas amarela e negra, doenças que anulam a produção das bananeiras e atacam todos os tipos dessa planta. A variedade Nanicão IAC 2001 – que dispensa totalmente a pulverização – será lançada em breve e já está registrada em nome do IAC junto ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Há 40 anos presente no Brasil, a Sigatoka amarela seca as folhas da bananeira e acaba com a produção. Já a Sigatoka negra provoca a mesma consequência que a amarela, porém com velocidade três vezes maior (IAC, 2011).

Independentemente da cultivar, os frutos são colhidos manualmente, geralmente por um ou dois operadores, de acordo com altura da planta e o peso do cacho. Quanto a cultivar Nanicão, dois operadores são necessários: um apoia o cacho em seu ombro, forrado com espuma de borracha, enquanto o outro corta o talo do cacho fora da planta. Os Cachos são então transportados no ombro até a estrada de recolha mais próxima onde eles esperam para o transporte até o galpão de embalagem (MAGALHÃES, 2004).

A determinação do ponto de colheita é feita pela medição do diâmetro dos frutos, através de um calibrador metálico, com várias bitolas, em forma de U (MOREIRA, 1999). Dependendo da distância da produção ao mercado consumidor, pode-se colher as frutas com diferentes diâmetros. Para mercados mais distantes deve-se colher frutos mais "magros", e para mercados mais próximos, frutos mais "gordos", ou seja, com calibre maior (BLEINROTH, 1984). Os calibres variam de 30 a 38 mm e a medição é feita na segunda penca do cacho. Antigamente a determinação do ponto de colheita era feita baseando-se no desenvolvimento do fruto e suas angulosidades. Moreira (1999) apresenta uma classificação para o subgrupo Cavendish conforme a Tabela 1.

Tabela 1. Sistema de colheita para o subgrupo Cavendish.

Tipo	Antigo Sistema	Novo Sistema
	Padrão Visual	**Calibre (mm)**
0	Magra	30
I	¾ Magra	32
II	¾ Natural	34
III	¾ Gorda	36
IV	Gorda (ou natural)	38

Fonte: Adaptado de Moreira (1999)

2.1.3 Características nutricionais, maturação e amadurecimento da banana

Dentre os frutos climatérios, a banana é um caso raro no que se refere à larga faixa de maturidade fisiológica em que pode ser colhida e induzida a amadurecer com excelente qualidade. Este fato permitiu que a maturação comercial de bananas se tornasse uma operação de rotina, em função de um esquema de coloração da casca, estabelecido por Wills et al. (1981).

A banana é um alimento altamente energético, que contêm aproximadamente 100 kcal/100 g de polpa, cujos hidratos de carbono (≈22%) são facilmente assimiláveis. Embora pobre em proteínas e lipídeos, seu teores superam os da maçã, pêra, cereja e pêssego. Contém quantidade de vitamina C similar à maçã, razoáveis quantidades das vitaminas A, B1 e B2 e pequenas quantidades de D e E. Apresenta um maior teor de potássio, fósforo, cálcio e ferro do que a maçã e a laranja. Na banana madura, o amido é convertido em açúcares, em sua maioria glicose, frutose e sacarose, dos quais 99,5% são fisiologicamente disponíveis (EMBRAPA, 1997). Dependendo do cultivar, o fruto pode pesar de 100 a 200 gramas, com 60 a 65% de polpa comestível (MEDINA, 1995).

A composição da banana muda drasticamente durante o amadurecimento. A cor da casca é um bom indicativo do grau de amadurecimento da banana e é frequentemente utilizada como guia para distribuição no varejo (MATSUURA; FOLEGATTI, 2001; MEDINA; MATSUURA, 2004), conforme mostra a Figura 1.

Durante o amadurecimento da banana, muitas transformações físicas, físico-químicas e químicas que ocorrem são importantes para monitorar o processo de amadurecimento dos frutos e caracterizar os estádios de maturação: a firmeza diminui acompanhada por uma mudança na coloração da casca devido à degradação da clorofila e à síntese de carotenóides (LICHTEMBERG, 1999).

O teor de sólidos solúveis aumenta, chegando a 27%; a acidez normalmente aumenta até atingir um máximo, quando a casca está totalmente amarela, para depois decrescer, predominando o ácido málico. O amido é degradado rapidamente, com o acúmulo de açúcares. A adstringência, representada pela presença de taninos, decresce à medida que o fruto vai amadurecendo, podendo também variar com a época de colheita do fruto (LICHTEMBERG, 1999).

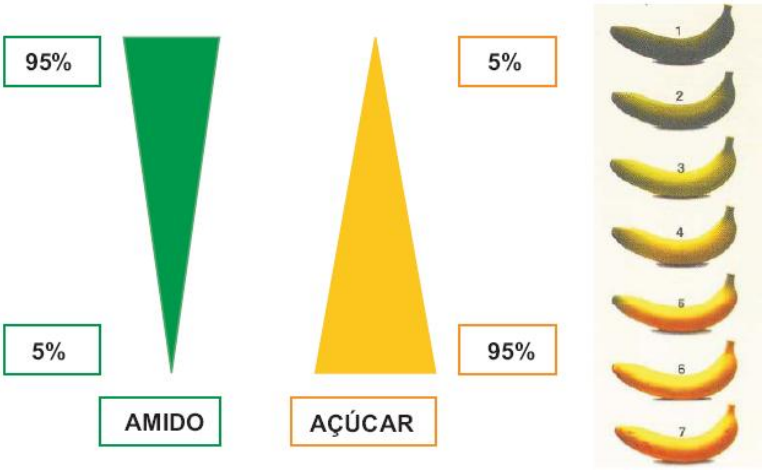


Figura 1. Representação esquemática da redução do teor de amido e acúmulo de açúcares durante a evolução da coloração amarela da casca de banana.

Fonte: Medina; Matsuura, 2004.

O aroma característico da banana também se intensifica com o amadurecimento, sendo um importante contribuinte para a qualidade dos frutos, influenciando a aceitabilidade do consumidor (MORTON; MACLEOD, 1990).

A Tabela 2 apresenta mudanças no amadurecimento de bananas, em oito estádios de maturação. Conforme Medina et al. (1995) a banana pode ser classificada em uma escala baseada no aspecto da fruta e nos teores de amido e açúcar.

Tabela 2. Estádio de maturação da banana.

Aspecto da fruta	Amido (%)	Açúcares (%)
1 – Fruta Verde	21,5 – 19,5	0,1 – 2,0
2 – Fruta verde com traços amarelos	19,5 – 16,5	2,0 – 5,0
3 – Fruta mais verde que amarela	18,0 – 14,5	3,5 – 7,0
4 – Fruta mais amarela que verde	15,0 – 9,0	6,0 – 12,0
5 – Fruta amarela extremamente verde	10,5 – 2,5	10,0 – 18,0
6 – Fruta inteiramente amarela	4,0 – 1,0	16,5 – 19,5
7 – Fruta amarela e pequenas manchas pardas	2,5 – 1,0	17,5 – 19,0
8 – Fruta amarela e grandes manchas pardas	1,5 – 1,0	18,5 – 19,0

Fonte: Medina et al. (1995).

2.2 SECAGEM

O Brasil é grande produtor de frutas e hortaliças e o desenvolvimento de técnicas de preservação de produtos com o máximo dos componentes nutricionais e propriedades sensoriais, é uma forma de viabilizar o aproveitamento racional. A

industrialização surge como alternativa para reduzir as perdas, principalmente no pico da safra, quando as frutas alcançam menores preços pelo excesso de oferta (ANDRADE et al., 2003).

A conservação de alimentos, através da desidratação ou secagem é apontada como um dos procedimentos mais importantes para a redução da atividade de água (a_w). É o processo comercial mais utilizado para preservar o alimento porque, comparado com outros métodos de conservação para períodos longos, como a centrifugação, o enlatamento, os tratamentos químicos, a irradiação, entre outros, é de custo mais baixo e envolve operações mais simples (ALEXANDRE et al., 2009).

De acordo com as referências clássicas que tratam da secagem de produtos alimentícios, a umidade de um produto alimentício nada mais é do que a quantidade de moléculas de água, ou teor de água, que se encontra ligada ou não às diversas partes do produto (MUJUMDAR, 1995; BARBOSA; VEGA, 1996; HELDMAN; HARTEL, 2000; GEANKOPLIS, 2003). Na secagem de alimentos, a água (umidade) é removida através do emprego do ar como fase gasosa insaturada (McCABE et al., 1993; GEANKOPLIS, 2003). Todos os materiais biológicos, especialmente os alimentícios, contêm água em seu estado natural, sendo um constituinte muito importante para o seu metabolismo. É uma observação histórica que materiais alimentícios podem ser conservados por longo tempo se seu conteúdo de umidade for reduzido (SHATADAL; JAYAS, 1992).

Existem dois métodos de secagem: a natural, feita pelo sol ou vento (método mais antigo); e a artificial, a qual necessita de fornecimento de energia diferente da solar. Durante a secagem é necessário o fornecimento de calor para evaporar a umidade do material e também deve haver um sorvedor de umidade para remover o vapor de água formado na superfície do material a ser seco (PARK; YADO; BROD, 2001).

A diferença de pressão parcial de vapor de água entre o ambiente e a superfície do produto ocasionará uma transferência de massa do produto para o ar, e assim o vapor é retirado do material. Durante a secagem, é na superfície do material que ocorre a evaporação da água, a qual foi transportada do interior do sólido. Os mecanismos mais importantes desse transporte são: difusão líquida, difusão de vapor e fluxo de líquido e de vapor (PARK; YADO; BROD, 2001).

De acordo com Garcia et al. (2004) a operação de secagem é fundamental no sistema de produção vegetal, porque além de reduzir a umidade, para permitir a

conservação da qualidade fisiológica do fruto durante armazenamento, possibilita a antecipação da colheita, evitando perdas de natureza diversa. A maior perda, estimada em 30 a 40% nos países desenvolvidos e nos trópicos e sub-trópicos, é atribuída ao manuseio, transporte e armazenagem inadequados (JAYRAMAN; DAS GUPTA, 2006).

Muitas frutas e vegetais contém mais de 80% de água e são, portanto, altamente perecíveis, devido à relação de proporcionalidade entre a umidade e a atividade de água. O processo de secagem ou desidratação de frutas, baseado na retirada de água livre, consiste em uma das técnicas mais antigas de conservação de alimentos. A remoção de água é um fator importante para inibir o crescimento de microrganismos e várias reações químicas e bioquímicas, permitindo melhor conservação dos alimentos na temperatura ambiente, minimizando a suscetibilidade à deterioração. Portanto, a umidade final é estabelecida com o propósito de obter um produto estável, sem desconsiderar a qualidade sensorial, que determina a aceitação do produto pelo consumidor (STRINGHETA et al., 2003).

2.2.1 Secagem em leito fixo

A secagem é um processo que deve ser previsto, dimensionado e planejado. Para qualquer projetista ou pesquisador é importante a utilização de um programa que permita a simulação deste processo de forma a predizer, de acordo com as condições de uma região, o melhor tipo de secador a ser usado e as condições de secagem, bem como o tempo necessário para realizá-la (CAVALCANTI MATA et al., 1999).

Na secagem em leito fixo são utilizados secadores com bandejas. O material, que pode ser um sólido irregular ou uma pasta, é espalhado de forma homogênea sobre uma bandeja. Os secadores de bandejas típicos possuem as bandejas suspensas e removíveis, dispostas de forma uniforme em seu interior (GEANKOPLIS, 2003).

O regime de leito fixo descreve a situação em que existe fluxo de gás através do leito, mas não existe nenhum movimento de partículas. A carga de partículas, equivalente a uma altura do leito, produz uma pressão estática que não pode ser vencida pela vazão de gás aplicada. O leito fixo é um dos sistemas de contato gás-sólido de concepção mais simples na área de meios porosos, e um dos mais

utilizados na indústria química, seja como reator do leito catalítico, como absorvedor, como trocador de calor ou como secador (SILVA, 1998).

Um dos objetivos principais da compreensão deste processo de secagem é ser capaz de prever as distribuições de teor de umidade e temperatura dentro do alimento embalado. Vários modelos foram formulados para descrever o calor e os processos de transferência de massa durante a secagem em leito fixo. Estes modelos incluem tanto modelos simplificados quanto complexos. Os modelos simplificados são baseados principalmente na hipótese de um mecanismo dominante de transferência de calor e massa (RUIZ-LÓPEZ et al., 2008). Um esquema simplificado do equipamento é apresentado na Figura 2.

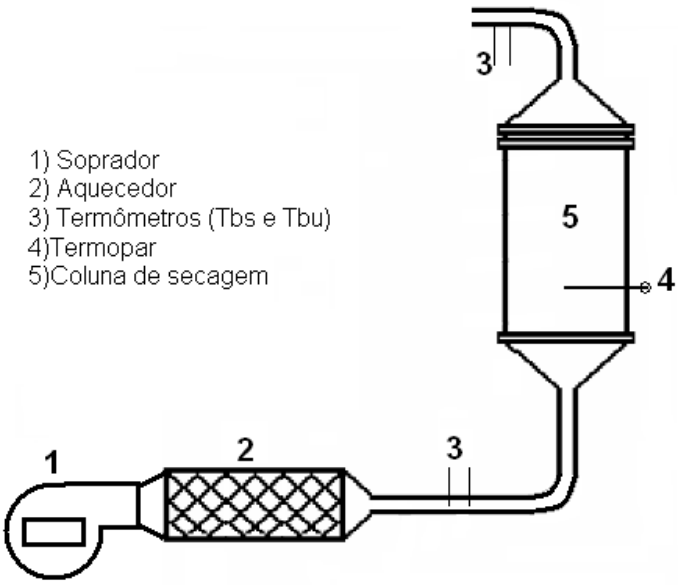


Figura 2. Esquema de um secador de leito fixo (camada delgada).

Fonte: Pena e Mendonça (2009)

2.2.2 Modelagem

A determinação da difusividade efetiva de umidade de um alimento é muito importante para formulação dos modelos matemáticos que explicam o comportamento do alimento durante a secagem. Geralmente se utiliza a lei de Fick da difusão, para a estimativa do valor médio da difusividade efetiva de água em um sólido (PORTER et al., 1984).

Incropera e Dewitt (1992) relatam que os modelos empíricos geralmente têm como base a lei de resfriamento de Newton para transferência de calor por convecção. O primeiro deles, denominado modelo exponencial, resulta da

simplificação da solução da equação de difusão para uma esfera. Uma modificação empírica desenvolvida por Page (BROOKER et al., 1992), sobre o modelo exponencial (Equação 1), para representar a secagem de um material em camada delgada, permite obter uma equação mais precisa para descrever as mudanças de relação de umidade (*MR*) durante o processo de secagem de produtos agrícolas. O acréscimo de um coeficiente (n) ao parâmetro tempo de secagem (t) da origem ao modelo proposto por Page (Equação 2).

$$MR = \frac{X - X_e}{X_o - X_e} = e^{-k \cdot t} \tag{1}$$

$$MR = \frac{X - X_e}{X_o - X_e} = \exp^{-kt^n} \tag{2}$$

onde: *MR* = relação de umidade (adim.); X_o = umidade inicial do produto (b.s.); *X* = umidade do produto em t (b.s.); X_e = umidade de equilíbrio do produto (b.s.); *k* = constante de secagem (s^{-1}); *t* = tempo (s); *n* = constante de secagem (adim.).

Pode-se entender a difusividade como a facilidade com que a água é removida do material. Como a difusividade varia conforme mudam as condições de secagem (temperatura e velocidade do ar), ela não é intrínseca ao material; convenciona-se, então, chamá-la de difusividade efetiva (OLIVEIRA; OLIVEIRA; PARK, 2006).

De acordo com Resende et al. (2008) as curvas de secagem em camada delgada variam com a espécie, a variedade, as condições ambientais, os métodos de preparo pós-colheita, entre outros fatores. Neste sentido, diversos modelos matemáticos têm sido utilizados para descrever o processo de secagem de produtos agrícolas.

Os diversos modelos são utilizados para estimar o tempo de secagem de diferentes produtos e gerar as curvas de secagem. Entre os modelos semi-teóricos e empíricos, Aproximação da Difusão, Dois Termos, Midilli e Kucuk e Page têm sido frequentemente utilizados para a modelagem matemática da cinética de secagem de produtos agrícolas (OZDEMIR; DEVRES, 1999; MIDILLI; KUCUK; YAPAR, 2002; PANCHARIYA; POPOVIC; SHARMA, 2002; CORRÊA et al., 2007; DOYMAZ, 2007).

O estudo de sistemas de secagem por simulação matemática, possibilita seu dimensionamento, a otimização e a determinação da viabilidade de sua aplicação comercial. Para a simulação, cujo princípio se fundamenta na secagem de sucessivas camadas delgadas do produto, utiliza-se um modelo matemático que representa satisfatoriamente a perda de umidade do produto durante a secagem. A aplicabilidade desses modelos na predição de dados experimentais alcança grande importância na prática, pois permite a redução dos exaustivos ensaios de laboratório. Existe considerável número de modelos matemáticos, teóricos, semi-empíricos e empíricos na literatura que podem ser empregados na predição de dados de secagem em camada delgada (AKPINAR; BICER; YILDIZ, 2003; MOHAPATRA; RAO, 2005).

2.3 FARINHA DE BANANA

2.3.1 Considerações gerais

De acordo com a Resolução RDC n° 263 (BRASIL, 2005), farinhas são os produtos obtidos de partes comestíveis de uma ou mais espécies de cereais, leguminosas, frutos, sementes, tubérculos e rizomas, por moagem e/ou outros processos tecnológicos considerados seguros para produção de alimentos.

A industrialização da banana pode representar uma opção para o aproveitamento de excedentes de produção. A industrialização da banana também pode promover o aumento da vida-de-prateleira e agregação de valor ao produto (JESUS et al., 2005). Segundo Suntharalingam e Ravindran (1993), a transformação de bananas verdes em farinha é de grande interesse devido à grande disponibilidade da matéria-prima durante todo o ano nas regiões produtoras.

A banana verde apresenta uma fonte alternativa de carboidrato não-digerível, e fatores como: conteúdo de amido na polpa, grande quantidade de celulose e níveis de hemicelulose e lignina, bem como o baixo custo da fruta, contribuem para que ela se apresente como alternativa na obtenção de farinha (GARCIA et al., 2006).

As propriedades funcionais do amido isolado da polpa de banana verde e da farinha da polpa de frutos verdes foram estudadas por Lobo e Silva (2003), que verificaram que a polpa seca, finamente moída, apresenta propriedades semelhantes às do amido isolado, surgindo dessa forma a possibilidade de utilizar a banana na forma de farinha, o que permitiria o uso das frutas rejeitadas para a venda *in natura*.

Segundo Lewis et al. (1999) o fruto verde é rico em flavonóides, que atuam protegendo a mucosa gástrica. Aparicio-Saguilán et al. (2007) mostraram que no estádio verde os frutos apresentam amidos resistentes, que não são absorvidos no intestino delgado de indivíduos saudáveis; o qual possui ação de fibras alimentares.

A farinha de banana é o produto obtido a partir da secagem natural ou artificial da banana verde ou semi-madura, fatiada ou desestruturada (purê), até umidade 8 a 10%, seguida de moagem em moinho de martelos, acondicionamento e armazenamento (ALVES, 1999; FOLEGATTI; MATSUURA, 2004).

O rendimento da farinha depende do cultivar e da técnica utilizados. Em geral, cada 100 kg de banana fornecem 50 kg de polpa, que após secagem gera de 10 a 11 kg de farinha, com 6 a 8 % de umidade (TORREZAN, 1999).

Outro ponto muito importante na produção de farinha é a questão de seu aspecto visual, pois a banana sofre um escurecimento rápido quando exposta ao oxigênio, decorrente da ação de duas enzimas, a peroxidase e a polifenoloxidase. Uma maneira de prevenir o escurecimento enzimático é submeter a banana a um tratamento químico (branqueamento), capaz de inativar a ação de tais enzimas. Um processamento muito prolongado de secagem pode causar alta degradação de antocianina (presente em menor quantidade), causando uma acentuada mudança na coloração no produto, do amarelo natural da banana para rosa e eventualmente marrom (TADINI; SAKUMA; FREITAS, 1998; TADINI; DITCHFIELD, 2006).

2.3.2 Composição da farinha de banana

O interesse em alimentos ricos em fibra dietética aumentou nas últimas décadas e a importância deste componente conduziu ao desenvolvimento de um grande mercado de produtos e ingredientes enriquecidos com fibras. A farinha de banana verde é um meio muito satisfatório de se obter consideráveis quantidades de fibras alimentares (GARCIA et al., 2006).

Segundo Adão e Glória (2005), a banana possui variável quantidade de minerais, que é um importante componente na alimentação. A polpa verde é caracterizada por uma forte adstringência, determinada pela presença de compostos fenólicos solúveis, principalmente taninos. À medida que a banana amadurece, ocorre polimerização desses compostos, com consequente diminuição na adstringência, aumento da doçura e redução da acidez.

Lima e Almeida (2011) realizaram a caracterização físico-química da farinha de banana verde cultivar Prata, submetida à secagem nas temperaturas 70 e 80°C, cujos valores são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Parâmetros físico-químicos da farinha de banana cultivar Prata obtida em diferentes temperaturas.

Parâmetro	Condição de secagem	
	70°C	**80°C**
Acidez total titulável (Ac. Málico) (%)	20,15 ± 2,435	17,76 ± 0,890
Amido (%)	48,13 ± 6,454	56,96 ± 7,298
Proteína bruta (%)	3,15 ± 0,120	3,97 ± 0,297
pH	3,13 ± 0,072	3,23 ± 0,0251
Umidade (%)	6,11 ± 0,190	6,47 ± 0,330
Resíduo mineral fixo (%)	1,77 ± 0,023	1,63 ± 0,114
Glicídios redutores (%)	18,80 ± 0,712	18,14 ± 1,978
Glicídios não-redutores (%)	23,61 ± 2,336	23,14 ± 0,914
Extrato etéreo (%)	0,33 ± 0,167	0,29 ± 0,046
Cálcio (mg/100g)	188,7 ± 2,032	196,22 ± 0,676

Fonte: Lima e Almeida (2011)

2.3.3 O amido e seus benefícios nutricionais

O amido é encontrado em abundância na natureza, só competindo em quantidade com a celulose. Os depósitos permanentes desse polissacarídeo nas plantas ocorrem principalmente nos órgãos de reserva como é o caso dos amiloplastos de grãos de cereais, tubérculos, raízes, e leguminosas (LEONEL; CEREDA, 2002).

O conteúdo de amilose e amilopectina afeta grandemente as propriedades funcionais do amido. A amilopectina é o maior componente de muitos amidos e sua estrutura tem um papel importante nas características do amido. Ela apresenta cadeia ramificada que está relacionada com a estrutura cristalina do amido. As cadeias ramificadas afetam a gelatinização, retrogradação e propriedades funcionais da pasta de amido (JANE; CHEN, 1992; JANE et al.,1999).

Erlingen e Delcour (1994) definiram o amido com base na sua resistência à hidrólise enzimática. Segundo os autores, o amido resistente (AR) pode ser definido como a parcela do grânulo, ou de seus produtos de degradação, que não são absorvidos no intestino delgado de indivíduos saudáveis, podendo, entretanto, ser fermentado no intestino grosso.

O amido resistente pode ser classificado em amido fisicamente inacessível (AR1), grânulos de amido resistente (AR2) e amido retrogrado (AR3), considerando sua resistência à digestão (WALTER, 2005).

Para propósitos nutricionais, alimentos amiláceos podem ser classificados como glicêmicos ou resistentes. Os amidos glicêmicos são aqueles que são degradados a glucose por enzimas no trato digestivo, podendo, além disso, ser classificados em rapidamente digerível e lentamente digerível (ENGLYST et al., 1992).

Alimentos funcionais ou nutracêuticos são termos utilizados para caracterizar alimentos e/ou ingredientes alimentares que, além de suas funções nutricionais normais (fonte de energia e substrato para a formação de células e tecidos), possuem em sua composição, uma ou mais substâncias capazes de atuar como biocomplexos moduladores dos processos metabólicos, melhorando as condições de saúde, promovendo o bem estar e prevenindo o surgimento precoce de doenças degenerativas (COZZOLINO, 2005).

Sabe-se que para indivíduos diabéticos, o uso de alimentos de baixo índice glicêmico ajuda na redução da glicemia, reduz a compulsão alimentar, diminui o risco de doenças cardiovasculares (DCV´s) e o uso de insulina. O uso de fibras é atualmente de grande interesse para os profissionais da saúde, por ser encontrada em alimentos e devido a sua ação benéfica no organismo (DUTRA, 2004).

Na pesquisa de Santos (2010), 20 voluntários com idade entre 21 a 29 anos consumiram uma barra de cereal de 25 g elaborada com farinha de banana verde. O resultado indicou que o consumo de fibras como o amido resistente presente na farinha de banana verde poderia diminuir as taxas de glicose e a resposta insulínica pós-prandial.

2.3.4 Isotermas de sorção de umidade

Isotermas de sorção de umidade são gráficos que relacionam a quantidade de água de um alimento com sua atividade de água, em função da umidade relativa da atmosfera que circunda o alimento, quando alcançado o equilíbrio a uma temperatura constante. São próprias de cada grupo de alimentos e permitem estimar a estabilidade de um produto (ORDÓÑEZ et al., 2005).

Nos alimentos, a água se encontra em duas formas: na forma livre e na forma ligada. A água ligada é definida como a água em contato com solutos e outros

constituintes não aquosos; existindo vários graus de ligação. Ela pode ser dividida em: água constitucional, que é a água ligada mais fortemente aos constituintes não aquosos do alimento, através de ligações iônicas; água vicinal, aquela que ocupa os espaços mais próximos da maioria dos grupos hidrofílicos presentes nos constituintes; água de multicamadas representa a água ligada de forma mais fraca aos constituintes não aquosos do alimento. A água livre é aquela que representa as mesmas propriedades da água pura, e que está disponível para o crescimento de microrganismos e para reações enzimáticas (RIBEIRO; SERAVALLI, 2004).

Por ser um dos mais importantes componentes dos alimentos, a água afeta todas as suas propriedades físicas. A forma como a água afeta a natureza física e as propriedades dos alimentos é complexa, devido à interação entre ela e o meio, o que envolve a estrutura física, bem como a composição química dos diversos solutos, incluindo polímeros e coloides ou partículas dispersas (PARK; BIN; BROD, 2001). Segundo Park et al. (2008) esta relação depende da composição química dos alimentos (gordura, amido, açúcar, proteínas, etc.).

As informações acerca da umidade de equilíbrio são importantes no processamento e armazenamento de alimentos. Uma vez produzido a fruta em pó, uma das mais importantes informações são as isotermas de equilíbrio higroscópico do produto, que tem por finalidade estabelecer se o produto, sob determinadas condições de temperatura e umidade relativa do ar, tenderá a adsorver ou dessorver água (ANSELMO et al. 2006).

Através das isotermas de adsorção e dessorção de umidade pode-se resolver numerosos problemas de processamento e estocagem de alimentos, dentre os quais pode-se destacar: a vida de prateleira e as melhores condições de armazenamento e embalagem para o produto. Pode-se ainda predizer as características finais de um produto, quando o mesmo é constituído por ingredientes com diferentes valores de atividade de água (a_w) (ASSUNÇÃO; PENA, 2007; MELO, et al., 2011).

As isotermas podem se apresentar de duas formas: isoterma de adsorção e isoterma de dessorção. A primeira é obtida quando o produto totalmente seco é colocado em atmosferas com diferentes umidades relativas, sendo acompanhado o aumento de peso do mesmo, em função do ganho de água (hidratação). Por outro lado, a isoterma de dessorção é obtida quando o produto úmido é colocado sob as mesmas atmosferas de umidades relativas. Nesse caso é medida a diminuição de peso da amostra, provocada pela perda de água da mesma (desidratação). As

isotermas de adsorção e dessorção de um mesmo produto não coincidem, e a diferença entre elas é conhecida como o fenômeno de histerese (HOSSAIN et al., 2001).

A adsorção é um fenômeno físico-químico de transferência no qual um ou mais constituintes de uma fase gasosa ou líquida são transferidos para a superfície de uma fase sólida. Os componentes que se ligam a superfície são denominados de adsorbatos, e a fase sólida que o retém é chamada de adsorvente. A remoção das moléculas a partir da superfície do adsorvente é denominada dessorção. A migração destes componentes de uma fase para outra tem como força motriz a diferença de concentrações entre o seio do fluido e a superfície do adsorvente. Devido à existência de forças atrativas não compensadas na superfície do adsorvente, as moléculas da fase fluida são atraídas para a zona interfacial (RUTHVEN, 1984; IUPAC, 1985; MASEL, 1996).

De acordo com Lomauro, Bakshi e Labuza (1985), uma isoterma de sorção de umidade pode ser dividida em três regiões, dependendo do estado da água presente no alimento. A primeira região representa a adsorção de uma camada monomolecular de água, entre 0 e 0,35 de atividade de água (a_w); a segunda região, representa a adsorção nas camadas adicionais acima da monocamada, e se localiza entre 0,35 e 0,60 de a_w, a terceira região, localizada acima de 0,60 de a_w, está relacionada com a água condensada nos poros do material, e com a água capaz de favorecer a dissolução das frações solúveis do material.

Segundo a IUPAC (1985), a maioria das isotermas pode ser agrupada em seis grupos, que são representados na Figura 3. As isotermas de adsorção de umidade de muitos alimentos não são lineares; geralmente tem forma sigmoidal, e têm sido classificados como Isotermas do Tipo II. Os Produtos alimentares secos geralmente apresentam isotermas do tipo II ou III (AL-MUHTASEB; McMINN; MAGEE, 2002; YAN; SOUSA-GALLAGHER; OLIVEIRA, 2008).

De acordo com diversos estudos, alimentos como: a farinha de mandioca (SANTOS; FIGUEIRÊDO; QUEIROZ, 2004), a farinha de banana (YAN; SOUSA-GALLAGHER; OLIVEIRA, 2008; BEZERRA et al., 2013), a farinha de tapioca (CHISTÉ et al., 2012) e outros produtos amiláceos (ABDULLAH; NAWAWI; OTHMAN, 2000) apresentam isotermas do tipo II. Uma vez que as isotermas de sorção de umidade de alimentos representam a matéria higroscópica integrada das propriedades de vários constituintes, as propriedades de sorção podem mudar como

resultado de interações químicas e físicas, induzidas por aquecimento ou por outros métodos de pré-tratamento (KNANI et al., 2012).

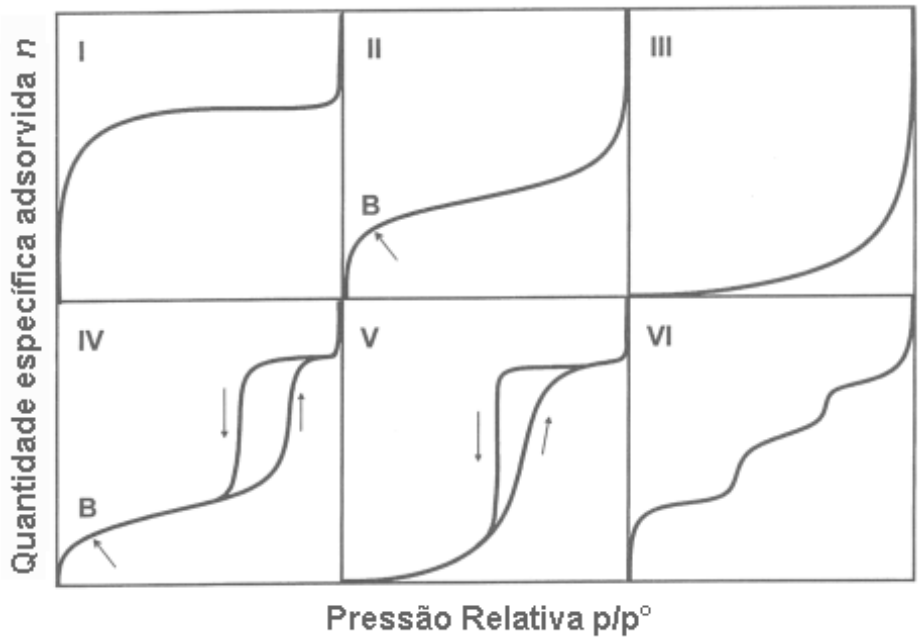


Figura 3. Classificação das isotermas de sorção, segundo a IUPAC (1985).

As isotermas de tipo III são caracterizadas pelo aumento do teor de umidade do produto com o aumento da a_w, de tal forma que a primeira derivada da curva também aumenta com a a_w. Este tipo de isoterma é frequentemente observado em produtos ricos em sólidos solúveis, como os açúcares (BLAHOVEC; YANNIOTIS, 2009). As isotermas do tipo I, IV, V e VI não são comuns para alimentos.

A diferença que ocorre entre as isotermas de adsorção e de dessorção, para um mesmo produto, em condições de temperatura constante, denomina-se histerese (Figura 4). O tipo da histerese está relacionado com a forma dos poros dos produtos e o efeito de histerese é característico de mesoporos (2-50 nm). Segundo a classificação apresentada por Claudino (2003), histerese do tipo A representa mesoporos da forma cilíndrica; histerese do tipo B está relacionada com mesoporos tipo fenda; histerese do tipo C representam mesoporos em forma cônica ou de cunha; e histerese do tipo D está relacionada com mesoporos em formato de garrafa.

De acordo com Caurie (2007), qualquer teoria sobre histerese deve explicar por que a curva de dessorção desvia-se da curva de adsorção que serve como referência. Segundo o autor, o efeito de histerese pode ser utilizado como um índice

de qualidade para alimentos, onde o aumento da histerese seria indicativo de estabilidade reduzida, enquanto sua redução ou ausência indicaria melhor estabilidade do produto durante o armazenamento.

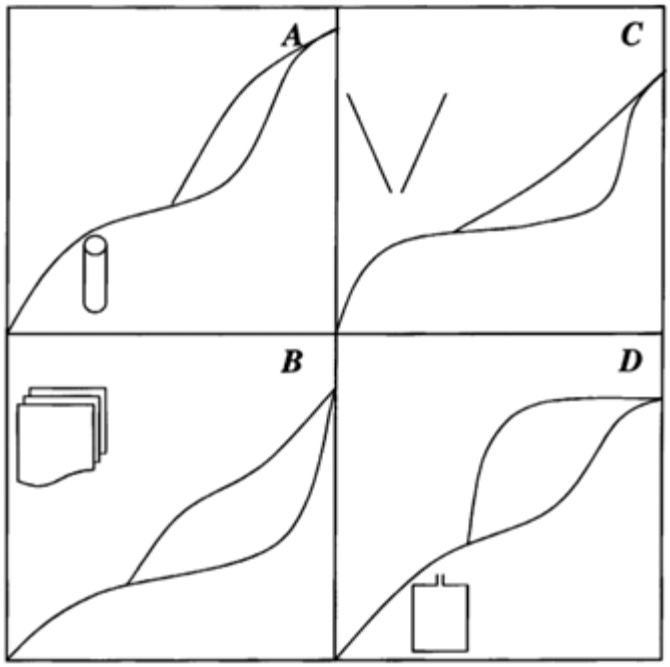


Figura 4. Classificação do perfil de histerese adsorção/dessorção segundo a estrutura do poro.

Fonte: Adaptado de Dumeignil et al. (2003).

Existe na literatura um número considerável de modelos matemáticos capazes de descrever isotermas de sorção de umidade de alimentos (CHIRIFE; IGLESIAS, 1978; AL-MUHTASEB; McMINN; MAGEE, 2004). Alguns modelos foram desenvolvidos com uma base teórica, para descrever mecanismos de adsorção, como as equações de BET (BRUNAUER; EMMET; TELLER, 1938) e de GAB (VAN DEN BERG, 1984), enquanto outros são apenas empíricos ou uma simplificação de modelos mais elaborados (YAN; SOUSA-GALLAGHER; OLIVEIRA, 2008).

Van den Berg e Bruin (1981) classificaram 77 modelos utilizados na predição de isotermas de sorção como: teóricos (48), semi-teóricos (15) e empíricos (14). A equação fundamental entre os modelos teóricos é o modelo de Langmuir (LANGMUIR, 1918), que se baseia nas forças que atuam entre a superfície do adsorvente e o vapor de água condensado sobre a mesma, na forma de uma camada monomolecular. A extensão da teoria de Langmuir, para a formação de camadas superiores a monocamada da origem aos modelos de BET e de GAB, que

são capazes de descrever isotermas com o formato sigmoidal, frequentemente observados para alimentos e outros materiais de origem biológica (BLAHOVEC; YANNIOTIS, 2009).

Al-muhtaseb, McMinn e Magee (2004) apresentam outra classificação para os modelos capazes de predizer isotermas de sorção, sendo: modelos cinéticos com base na formação de apenas uma camada molecular (monocamada), como a equação de BET; modelos cinéticos com base na formação de multicamada, como a equação de GAB; modelos semi-empíricos, como as equações de Ferro Fontan, Henderson e Halsey; e modelos empíricos, como as equações de Smith e Oswin.

As equações de BET e de GAB possibilitam a predição da umidade equivalente à monocamada, que é uma informação muito importante para a determinação das melhores condições de secagem e de armazenamento de alimentos desidratados (ARSLAN; TOGRUL, 2006). A equação de BET é biparamétrica, facilmente linearizada (Equação 3) e ajustada por regressão linear aos dados experimentais, mas por considerar a formação de apenas uma camada molecular, se ajusta melhor para a_w inferiores a 0,5 (região da monocamada). Já a equação de GAB (Equação 4), por ser triparamétrica necessita da utilização de um método de regressão não-linear, mas por considerar a formação de camadas de água superiores a monocamada (multicamadas), dá bons ajustes até 0,9 de a_w. Acima desse valor, o modelo geralmente prediz umidades de equilíbrio menores que as experimentais (YANNIOTIS; BLAHOVEC, 2009).

$$\frac{a_w}{(1-a_w).m} = \frac{1}{m_o.C} + \frac{(C-1)}{m_o.C}.a_w \tag{3}$$

$$m = \frac{m_o.c.k.a_w}{[(1-k.a_w)(1-k.a_w+c.k.a_w)]} \tag{4}$$

onde: m = umidade (g/100 g b.s.); a_w = atividade de água (adimensional); m_o = umidade na monocamada (g/100 g b.s.); C = constante relacionada ao calor de sorção; c = constante de Guggenheim; k = fator relacionado as multicamadas.

De acordo com Gabas et al. (2007), os critérios usados para selecionar o modelo de sorção mais apropriado são: o nível de ajuste aos dados experimentais e o significado físico do modelo.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 MATERIAL

3.1.1 Matéria-prima

Foram utilizadas bananas da variedade Nanicão, nos estádios de maturação 1, 2 e 3, com teores de sólidos solúveis médios de 2, 5 e 8°Brix, respectivamente (Figura 5). Os frutos utilizados no estudo foram adquiridos nas Centrais de Abastecimento do Estado do Pará S.A. (CEASA-PA).

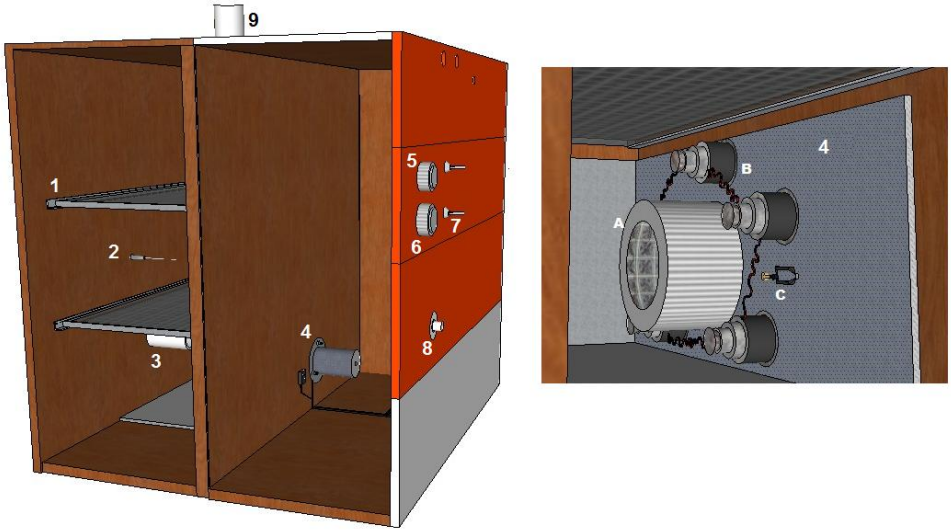
Figura 5. Banana utilizada no estudo nos três diferentes estádios de maturação: (A) Estádio 1 (2°Brix); (B) Estádio 2 (5°Brix); (C) Estádio 3 (8°Brix).

Na determinação do estádio de maturação da banana tomou-se como referência o teor de sólidos solúveis (°Brix). Para o estádio de maturação 1, o teor de sólidos solúveis variou de 2,1 a 2,9°Brix (média de 2,5 °Brix); para o estádio de maturação 2, variou de 4,9 a 5,7°Brix (média de 5,2 °Brix) e para o estádio de maturação 3, variou de 7,8 a 8,7°Brix (média de 8,2 °Brix). Essas faixas estão de acordo com a classificação geral para banana proposta por Medina (1995).

3.1.2 Equipamento

Para a realização dos ensaios de secagem em leito fixo foi construído o secador esquematizado na Figura 6.

(A) **(B)** **(C)**



(D)

Figura 6. Imagens do secador de leito fixo utilizado na pesquisa: **(A)** frontal; **(B)** lateral/controles; **(C)** interior/ bandeja (722cm^2); **(D)** esquema do sistema: bandeja (1); termômetro do leito fixo (2); entrada de ar (3); placa de distribuição de calor (4): hélice de ventilação (a), resistência (b), termopar do controle de aquecimento (c); ajuste de temperatura (5); ajuste fino de temperatura (6); chave de acionamento do sistema (7); controle do motor de ventilação (8); saída de ar (9).

3.2 MÉTODOS

3.2.1 Secagem da banana Nanicão

3.2.1.1 Planejamento experimental

Para avaliar o processo de secagem em camada delgada da banana Nanicão, em secador de leito fixo, foi utilizado um planejamento fatorial a três níveis (3^2), com triplicata no ponto central; tendo como variáveis de entrada (independentes): a temperatura do ar de secagem (50°C, 60°C e 70°C) e o estádio de maturação da banana (Estádio 1, Estádio 2 e Estádio 3). A matriz experimental utilizada está representada na Tabela 4. As variáveis de saída (dependentes) avaliadas foram: umidade, atividade de água, cor instrumental, índice de absorção e índice solubilidade em água, açúcares redutores, açúcares totais, difusividade efetiva e tempo de secagem.

Tabela 4. Matriz experimental do planejamento fatorial 3^2 utilizado.

Corrida	Variável Padrão		Variável Codificada	
	Temperatura (°C)	Estádio de maturação	Temperatura (°C)	Estádio de maturação
1	50	1	-1,0	-1,0
2	50	2	-1,0	0,0
3	50	3	-1,0	1,0
4	60	1	0,0	-1,0
5 (C)	60	2	0,0	0,0
6	60	3	0,0	1,0
7	70	1	1,0	-1,0
8	70	2	1,0	0,0
9	70	3	1,0	1,0
10 (C)	60	2	0,0	0,0
11 (C)	60	2	0,0	0,0

A velocidade do ar de secagem foi fixada em 1,5 m/s, com base na literatura, que evidenciou que somente velocidade do ar de secagem inferiores a 1 m/s influenciaram negativamente o processo de secagem. O leito foi fixado em 4 mm, também de acordo com recomendações da literatura e para melhorar a distribuição difusional (HAENDLER, 1966; MOWLAH et al., 1983; BERNA et al., 1990; SILVA et al., 2009). A pesagem das amostras foi feita a cada 5 minutos nos 30 primeiros minutos; a cada 10 minutos até 100 minutos e a cada 20 minutos a partir desse

tempo, até peso constante. A metodologia e o tratamento de dados utilizados foram baseados em Waughon e Pena (2008). Também foi realizada análise de umidade na banana *in natura*.

Após a secagem, as rodelas de banana foram trituradas em moinho de martelo (Girius Continental, Brasil). A farinha obtida foi armazenada em frascos de polietileno, em porções de 50 a 80g. As etapas utilizadas no beneficiamento da banana Nanicão são apresentadas no fluxograma da Figura 7.

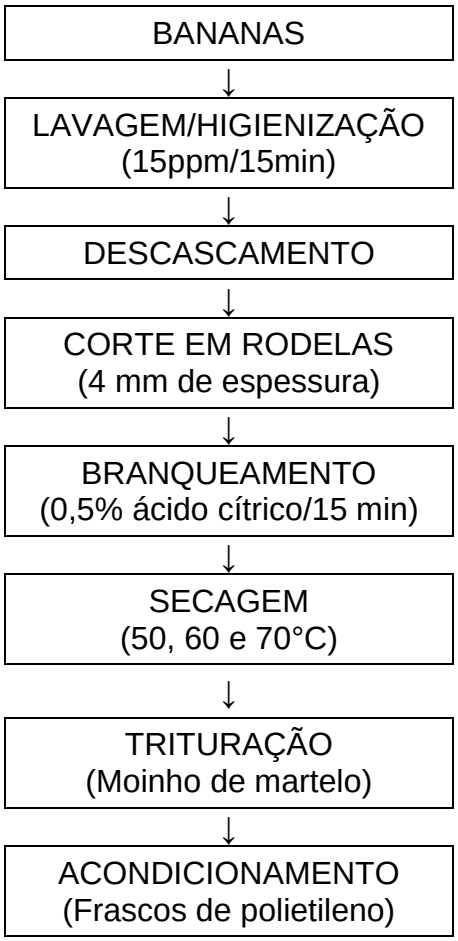


Figura 7. Etapas realizadas no beneficiamento da banana Nanicão.

3.2.1.2 Modelagem matemática da secagem

Para a predição das curvas de secagem da banana Nanicão, nas diferentes condições de secagem, foram testados os dez modelos matemáticos apresentados na Tabela 5, classicamente utilizados na modelagem da secagem em camada delgada.

Tabela 5. Modelos teóricos, semi-empíricos e empíricos ajustados aos dados de secagem em camada delgada da banana Nanicão.

Nome do modelo	Equação	Parâmetros
Newton	$MR = e^{-k \cdot t}$	1
Page	$MR = e^{-k \cdot t^n}$	2
Page modificado	$MR = e^{-(k \cdot t)^n}$	2
Henderson e Pabis	$MR = a \cdot e^{-k \cdot t}$	2
Logarítmico	$MR = a \cdot e^{-k \cdot t} + c$	3
Midilli	$MR = b \cdot t + a \cdot e^{-k \cdot t^n}$	4
Dois termos	$MR = a \cdot e^{-k_o \cdot t} + b \cdot e^{-k_1 \cdot t}$	4
Aproximação da difusão	$MR = a \cdot e^{-k \cdot t} + (1 - a) \cdot e^{-k \cdot b \cdot t}$	4
Verma	$MR = a \cdot e^{-k \cdot t} + (1 - a) \cdot e^{-g \cdot t}$	4
Dois termos exponencial	$MR = a \cdot e^{-k \cdot t} + (1 - a) \cdot e^{-k \cdot a \cdot t}$	4

Fonte: Akpinar, Bicer e Yildiz (2003)

Realizou-se a análise de regressão com auxílio do aplicativo STATISTICA 7.0, utilizando a metodologia de estimativa de *Levenberg-Marquardt* e o critério de convergência de 10^{-6}. Os parâmetros e critérios empregados para selecionar os melhores ajustes foram: o coeficiente de determinação (R^2) (Equação 5), o valor do qui-quadrado (χ^2) (Equação 6) e a correlação entre os valores de MR experimentais e preditos.

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^{N} \left(MR_i - MR_{pre,i}\right) \cdot \sum_{i=1}^{N} \left(MR_i - MR_{\exp,i}\right)}{\sqrt{\left[\sum_{i=1}^{N} \left(MR_i - MR_{pre,i}\right)^2\right] \cdot \left[\sum_{i=1}^{N} \left(MR_i - MR_{\exp,i}\right)^2\right]}} \tag{5}$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^{N} \left(MR_{\exp,i} - MR_{pre,i}\right)^2}{N - n} \tag{6}$$

onde: MR = relação de umidade; MR_{exp} = relação de umidade determinada a partir dos dados experimentais; MR_{pre} = relação de umidade predita pelos modelos ajustados; N = número de observações; n = número de parâmetros do modelo.

A relação de umidade (MR) foi calculada pela Equação 7.

$$MR = \frac{X - X_e}{X_o - X_e} \tag{7}$$

onde: X = umidade em determinado tempo; X_o = umidade inicial; X_e = umidade de equilíbrio (todos em base seca).

3.2.1.3 Cálculo da difusividade efetiva

O coeficiente de difusão ou difusividade efetiva (D_{eff}) das diferentes condições de secagem foi determinado a partir da segunda Lei de Fick da difusão, truncada no primeiro termo (Equação 8) (GEANKOPLIS, 2003). Considerou-se a distribuição de umidade inicial, uniforme e sem a presença de qualquer resistência térmica, a geometria das amostras como sendo uma placa plana, e a secagem por apenas um lado com fluxo de ar ascendente. O valor de D_{eff} foi calculado a partir do coeficiente angular da reta obtida da relação *ln(MR)* x *t*, através de regressão linear.

$$MR = \frac{X - X_e}{X_o - X_e} = \frac{8}{\pi^2} \exp\left(-\frac{D_{eff}\pi^2}{L^2} t \right) \quad (8)$$

onde: X = umidade em determinado tempo; X_o = umidade inicial; X_e = umidade de equilíbrio (todos em base seca); t = tempo de secagem (s); L= espessura do leito (m)

3.2.2 Análises físico-químicas das farinhas de banana

Umidade. Realizada pelo método gravimétrico, de acordo com o método 44-15-A da AACC (1995).

Cinzas. As amostras foram carbonizadas até cessar a liberação de fumaça e, em seguida, calcinadas em mufla a 550°C, de acordo com o método 08-01 da AACC (1995).

Proteína total. Foram determinadas a partir do teor de nitrogênio total na amostra, empregando a técnica de Kjeldahl, de acordo com o método 46-13 da AACC (1995). Foi utilizado o fator de 5,75 para conversão do nitrogênio em proteína bruta.

Lipídios. Foram determinados por extração em Soxhlet com posterior evaporação do solvente, de acordo com método 30-10 da AACC (1995).

Amido total. Foi determinado conforme a metodologia descrita por Cereda et al. (2004), por hidrólise ácida em microondas.

Açúcares redutores e totais. Determinados pelo método titulométrico de Fehling, de acordo com a AOAC (1997), método nº 920.183b.

Carboidrato total: Determinado através da soma de amido total e açúcares totais.

Valor calórico. Foi calculado com base na composição da farinha, utilizando os fatores de conversão de Atwater, de 4 kcal/g para proteínas e carboidratos, e de 9 kcal/g para lipídios, conforme Brasil (2003).

3.2.3 Análises físicas da farinha

3.2.3.1 Avaliação granulométrica

A distribuição de tamanho de partículas das farinhas de banana obtidas foi determinada baseada no método 965.22 da AOAC (1997), utilizando um conjunto de peneiras (60 e 200 mesh – ABNT), previamente pesadas. Aproximadamente 37 g das farinhas foram submetidos à vibração por um período de 5 minutos em um agitador de peneiras. Após este período foi realizada a pesagem das peneiras com o material retido. A massa retida foi obtida através da diferença dos pesos das peneiras, com e sem amostra.

3.2.3.2 Índice de absorção de água (IAA)

Foi determinado de acordo com a metodologia proposta por Anderson et al. (1969). Em 2,5 g de amostra, pesados em tubo de centrífuga, previamente tarado, foram adicionados 30 mL de água destilada a 30°C. O tubo foi mantido sob agitação constante, em agitador horizontal de tubos TECNAL, durante 30 minutos; e após foi centrifugado a 3.000 x g por 10 minutos. O sobrenadante (10 mL) foi colocado em placa de Petri previamente tarada e submetido à secagem em estufa com circulação de ar a 105°C, até peso constante. O tubo com o resíduo (sedimento) também foi pesado. Para a determinação do IAA foi utilizada a Equação 9.

$$IAA = \frac{PRC}{PA - PRE} \tag{9}$$

onde: *IAA* = Índice de absorção de água (g/100g b.s); *PRC* = peso do resíduo de centrifugação (g); *PA* = peso da amostra (base seca) (g); *PRE* = peso do resíduo de evaporação do sobrenadante (g).

3.2.3.3 Índice de solubilidade em água (ISA)

A determinação do ISA foi realizada também segundo metodologia proposta por Anderson et al. (1969), seguindo os mesmos procedimentos da determinação do IAA. O ISA representa a relação entre o peso do resíduo de evaporação e o peso da amostra em base seca, de acordo com a Equação 10.

$$ISA = \frac{PRE}{PA} \times 100 \qquad (10)$$

onde: *ISA* = Índice de solubilidade em água (%); *PRE* = peso do resíduo de evaporação (g); *PA* = peso da amostra (base seca) (g).

3.2.3.4 Cor Instrumental

Foi determinada por colorimetria *tristimulus*, em colorímetro da marca MINOLTA modelo CR310, onde L* representa a coordenada de luminosidade, a* e b* são as coordenadas de cromaticidade.

3.2.3.5 Atividade de água

Foi determinada a 25°C, em higrômetro AquaLab Series 3TE da DECAGON, com controle interno de temperatura.

3.2.3.6 Calorimetria diferencial de varredura (DSC)

Para avaliar possíveis interferências das condições de secagem na gelatinização do amido, as farinhas obtidas a 50 e 70°C no estádio de maturação 1 foram submetidas à calorimetria diferencial de varredura (DSC), em equipamento da marca Shimadzu, modelo DSC-60, com razão de aquecimento de 10°C/min e fluxo de nitrogênio de 25 mL/min, na faixa de temperatura de 30 a 150°C, baseado em Garcia et al. (1996). Foram avaliadas as farinhas obtidas com a banana no estádio de maturação 1, por apresentarem os maiores teores de amido, e as submetidas à secagem a 50 e 70°C, por terem sido a menor e maior temperaturas de secagem, respectivamente.

3.2.4 Avaliação higroscópica das farinhas

Isotermas de adsorção e dessorção de umidade foram obtidas a 25°C, para as farinhas de banana Nanicão nos três estádios de maturação, a partir da relação entre as umidades do produto e as correspondentes atividades de água. As farinhas obtidas a partir das bananas em um mesmo estádio de maturação (1, 2 e 3), secas nas três diferentes temperaturas de secagem (50, 60 e 70°C), foram misturadas na proporção de 1/3 (um terço), e utilizadas para a realização dos ensaios.

Na obtenção dos dados de adsorção, amostras dos produtos pesadas (≈1 g) em cápsulas do aparelho de atividade de água (a_w) foram submetidas à desidratação complementar, em dessecador contendo sílica-gel na base, sob vácuo e à temperatura ambiente (≈25°C), por um período de 24 horas. Em seguida, as amostras foram transferidas para um dessecador contendo água na base e levadas para uma estufa DBO, na temperatura de trabalho (25±1°C).

Na obtenção dos dados de dessorção, as mesmas amostras submetidas ao processo de adsorção foram mantidas em dessecador contendo água na base, na temperatura de trabalho (25°C) por 24 horas, para que ocorresse a umidificação das amostras. Em seguida, as amostras foram transferidas para um dessecador contendo sílica-gel na base, e o conjunto foi transferido para o ambiente com temperatura controlada (25±1°C).

Tanto para a adsorção quanto para dessorção, amostras foram retiradas em duplicata, em tempos crescentes (equilíbrio dinâmico). A umidade dessas amostras foi determinada por diferença de massa, com auxílio de uma balança analítica e a atividade de água foi medida em um higrômetro AquaLab Series 3TE da DECAGON.

3.2.4.1 Determinação da monocamada

A umidade da monocamada (m_o) foi determinada para dessorção através da equação de BET linearizada (Equação 11) (BRUNAUER, EMMET e TELLER, 1938).

$$\frac{a_w}{(1-a_w).m} = \frac{1}{m_o.C} + \frac{(C-1)}{m_o.C}.a_w \qquad (11)$$

onde: m = umidade (g H_2O/100g b.s.); a_w = atividade de água; m_o = umidade da monocamada (g H_2O/100g b.s.) e C = constante relacionada com o calor de adsorção.

3.2.4.2 Modelagem matemática das isotermas

No ajuste matemático das isotermas de adsorção e dessorção de umidade das farinhas de banana foram utilizados os modelos apresentados na Tabela 6.

Tabela 6. Modelos utilizados na predição das isotermas de sorção das farinhas de banana.

Modelo	Equação	Número de parâmetros
Halsey[a]	$m = \left[\frac{-a}{\ln a_w}\right]^{\frac{1}{b}}$	2
Handerson[a]	$m = \left[\frac{-\ln(1-a_w)}{a}\right]^{\frac{1}{b}}$	2
Oswin[a]	$m = a\left[\frac{a_w}{1-a_w}\right]^{b}$	2
Smith[a]	$m = a - b \cdot \ln(1-a_w)$	2
BET[b]	$m = \frac{m_o \cdot c \cdot a_w}{1-a_w} \cdot \left(\frac{1-(n+1)\cdot a_w^n + n \cdot a_w^{n+1}}{1-(1-c)\cdot a_w - c \cdot a_w^{n+1}}\right)$	3
GAB[c]	$m = \frac{m_o \cdot c \cdot k \cdot a_w}{[(1-k\cdot a_w)\cdot(1+(c-1)\cdot k \cdot a_w)]}$	3

m = umidade (g/100 g b.s.); a_w = atividade de água; m_o = umidade monocamada (g/100 g b.s.); a, b, c, k, n = constantes; [a]Chirife e Iglesias (1978); [b]Park e Nogueira (1992); [c]Maroulis et al. (1988).

Os critérios usados para determinar os melhores ajustes dos modelos aos dados experimentais foram: o coeficiente de determinação (R^2) (Equação 2), o desvio médio relativo (P) (Equação 12) e a correlação entre os valores de umidade, experimental (m_{exp}) e predito (m_{pre}).

$$P = \frac{100}{N}\sum_{i=1}^{N}\frac{\left|MR_{\exp} - MR_{pre}\right|}{MR_{\exp}} \tag{12}$$

3.2.5 Análise estatística

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e teste complementar de Tukey, para comparação de médias. O planejamento experimental foi avaliado por Metodologia de Superfície de Resposta. O ajuste dos modelos de regressão linear e não-linear foram realizados com auxílio do programa

Statistica® versão 7.0 (STATSOFT INC., 2004). Na regressão não-linear foi utilizada a metodologia de estimativa de *Levenberg-Marquardt* e o critério de convergência de 10^{-6}.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL DA SECAGEM

Na Tabela 7 é apresentada a matriz experimental utilizada e os valores das variáveis de saída (dependentes) avaliadas em relação ao processo de secagem e as farinhas da banana Nanicão obtidas.

Tabela 7. Resultados dos experimentos do planejamento fatorial 3^2 utilizado.

N	Variável		m (%)	a_w	Cor			D_{eff} x 10^{-8} (m^2/s)	θ (h)	AR (%)	AT (%)	IAA (g gel/g)	ISA (%)
	T (°C)	EM			L*	a*	b*						
1	50	1	9,84	0,34	79,56	0,26	12,07	1,57	5,9	3,45	3,71	3,11	3,54
2	50	2	7,28	0,27	79,87	0,1	12,44	1,62	5,1	4,33	8,32	3,32	3,04
3	50	3	8,09	0,36	80,45	0,06	13,27	1,65	5,3	5,24	13,17	3,27	4,63
4	60	1	4,72	0,11	75,68	0,67	12,34	2,16	3,6	1,55	2,93	2,88	3,27
5(C)	60	2	5,50	0,25	77,14	0,37	11,81	2,30	3,7	2,51	5,85	3,01	2,68
6	60	3	5,91	0,17	75,21	0,48	11,40	2,04	4,3	3,79	9,3	3,14	3,14
7	70	1	5,18	0,11	74,05	0,76	12,27	2,82	2,7	1,14	1,79	2,91	3,10
8	70	2	5,47	0,11	75,68	0,67	12,34	2,42	3,1	2,93	4,6	2,96	3,10
9	70	3	5,30	0,19	75,90	0,42	13,32	2,38	3,4	4,25	7,53	2,97	4,92
10(C)	60	2	6,31	0,20	77,85	0,47	12,14	2,14	4,0	2,25	5,45	3,24	3,54
11(C)	60	2	5,68	0,16	78,44	0,27	12,06	2,24	3,6	2,74	5,71	2,99	3,44

N – Número da corrida; T – Temperatura de secagem (ºC); EM – Estádio de maturação; m – Umidade (g/100 g da farinha); a_w – Atividade de água; D_{eff} – Difusividade efetiva (m^2/s); θ – Tempo de secagem (h); AR – Açúcares redutores; AT – Açúcares totais; IAA – Índice de absorção de água (g gel/g b.s.); ISA – Índice de solubilidade em água (%).

Umidade

A Resolução RDC ANVISA/MS nº 263 (BRASIL, 2005) adota o padrão máximo de 15% de umidade para produtos de frutas secas ou desidratados de frutas. No entanto Torres et al. (2005) adotaram 8% como umidade final para a farinha de banana verde, provavelmente porque as farinhas são comercializadas em embalagens de polietileno de baixa densidade, que não é impermeável ao vapor d'água. A alteração física mais importante que ocorre em alimentos desidratados é a aglomeração ou perda do fluxo livre, para produtos em pó, por isso a importância de controlar essa variável. A umidade das farinhas de banana Nanicão obtidas nas diferentes condições experimentais variou de 4,72 a 9,84%, bem inferior ao limite estabelecido pela legislação.

A partir da análise de variância apresentada na Tabela 8 é possível observar que a variável temperatura de secagem apresentou efeito linear e quadrático significativos ($p<0,05$) sobre a umidade das farinhas de banana. Os efeitos podem ser visualizados na superfície de resposta da Figura 8, que demonstra claramente a redução da umidade com o aumento da temperatura de secagem. O valor do coeficiente de determinação para a regressão (R^2 = 0,8328) indica que a Equação 13, que prediz a superfície de resposta, explica 83,28% da variação total da umidade; sendo considerado um bom ajuste.

Tabela 8. Análise de variância para a variável umidade da farinha de banana.

Fator	SQ	GL	MQ	F	P
(1) T (L)	14,2913	1	14,2913	79,0495	0,0124
T (Q)	3,6435	1	3,6435	20,1535	0,0462
(2) EM (L)	0,0323	1	0,0323	0,1785	0,7138
EM (Q)	0,0491	1	0,0491	0,2718	0,6541
1L x 2L	0,8742	1	0,8742	4,8356	0,1589
Falta de ajuste	3,5364	3	1,1788	6,5203	0,1359
Erro puro	0,3616	2	0,1808		
Total	23,3140	10			

SQ – Soma quadrada; GL – Graus de liberdade; MQ – Média quadrada.

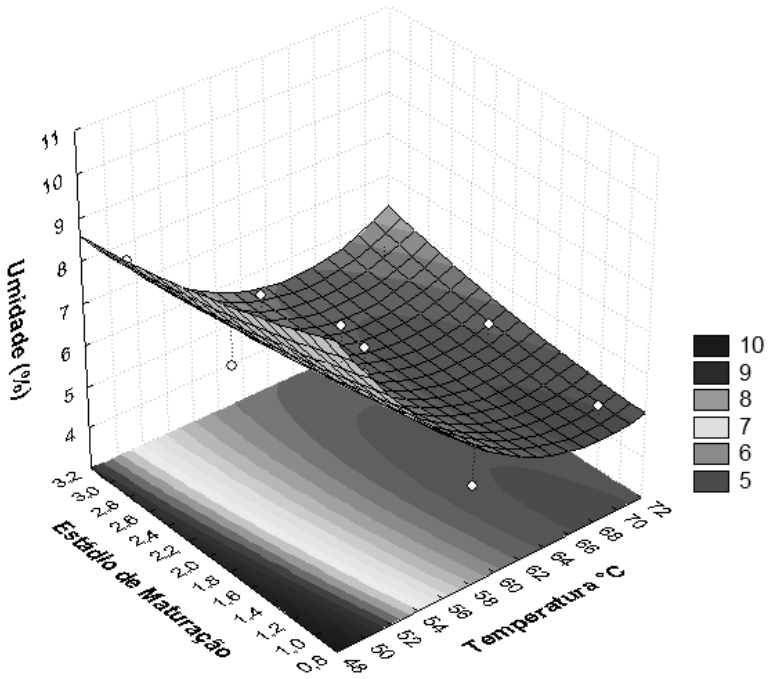


Figura 8. Superfície de resposta para a variável umidade da farinha de banana.

$$Umidade(\%) = 64,31 - 1,69T + 0,01T^2 - 3,44EM + 0,14EM^2 + 0,05T.EM \quad (13)$$

Apesar do teor de sólidos solúveis das bananas submetidas à secagem ter variado de 2,1 a 8,7°Brix, por terem sido utilizadas bananas em diferentes estádios de maturação, esta variável não exerceu efeito significativo ($p \geq 0,05$) sobre a umidade da farinha.

Atividade de água

A atividade de água é um dos fatores mais importantes para o acondicionamento de produtos secos e similares, pois determina a água disponível, tanto para a atividade enzimática, quanto para a ação microbiana. Na Tabela 9 é apresentado o resultado da análise de variância para a variável atividade de água (a_w) da farinha de banana.

Tabela 9. Análise de variância para a variável atividade de água da farinha de banana.

Fator	SQ	GL	MQ	F	P
(1) T (L)	0,0523	1	0,0523	23,8246	0,0395
T (Q)	0,0067	1	0,0067	3,0596	0,2224
(2) EM (L)	0,0043	1	0,0043	1,9449	0,2978
EM (Q)	0,0001	1	0,0001	0,0025	0,9646
1L x 2L	0,0009	1	0,0009	0,4102	0,5874
Falta de ajuste	0,0102	3	0,0034	1,5511	0,4151
Erro puro	0,0044	2	0,0022		
Total	0,0794	10			

SQ – Soma quadrada; GL – Graus de liberdade; MQ – Média quadrada.

A ANOVA indicou que a variável temperatura também apresentou efeito linear significativo ($p<0,05$) sobre a a_w da farinha, o qual pode ser observado na superfície de resposta da Figura 9. O aumento da temperatura de secagem provocou a redução da a_w, o que já era esperado devido a relação de proporcionalidade direta entre a umidade e a a_w. O valor do coeficiente de determinação para a regressão (R^2 = 0,8161) indica que a Equação 14, que prediz a superfície de resposta, explica 81,61% da variação total da a_w; podendo também ser considerado um bom ajuste.

O processo de desidratação de alimentos, através do uso do calor ou métodos físicos, provoca a redução da fração de água livre, e consequentemente da a_w, impedindo a contaminação microbiana e as reações químicas em geral, com exceção da oxidação lipídica. O processo visa reduzir a a_w para níveis entre 0,2 e 0,6; valores inferiores aos níveis necessários para o crescimento de microrganismos

e para a maioria das reações químicas; evitando assim a deterioração do alimento (ANDRADE, 2006). A a_w das farinhas de banana obtidas nas diferentes condições variou de 0,11 a 0,36%, o que assegura a estabilidade microbiológica de todos os produtos (SCOTT, 1957; ROCKLAND; NISHI, 1980). Em relação a a_w, também não foi observado efeito significativo ($p \geq 0,05$) do estádio de maturação da banana.

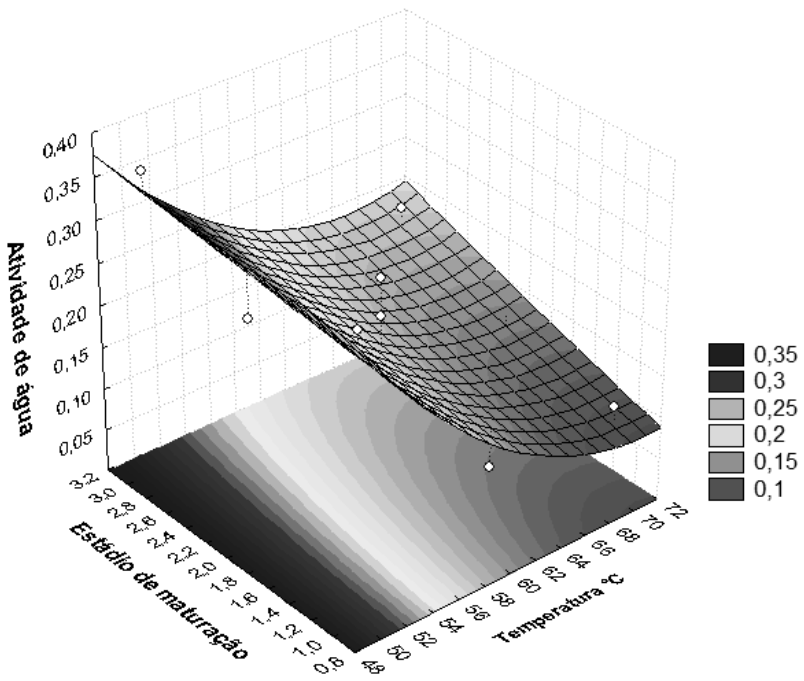


Figura 9. Superfície de resposta para a variável atividade de água da farinha de banana.

$$a_w = 2,72 - 0,07T + 5,0 \times 10^{-4} T^2 - 0,07EM + 1,5 \times 10^{-3} EM^2 + 1,5 \times 10^{-3} T.EM \qquad (14)$$

Os níveis de umidade e de a_w obtidos indicam que a secagem da banana Nanicão em temperaturas entre 50 e 60°C já proporcionam farinhas com estabilidade microbiológica e deteriorativa. Secagem nesses níveis de temperatura evitam a gelatinização do amido, que segundo Mota et al. (2000) ocorre entre 70,3 e 86,1°C, para o amido da banana variedade Nanicão, de acordo com a calorimetria diferencial de varredura (DSC).

Tribess et al. (2009) avaliaram também as propriedades térmicas do amido da farinha de banana Nanicão verde, por calorimetria diferencial de varredura (DSC). As farinhas foram obtidas a partir de bananas secas em secador de bandeja, em diferentes condições de temperatura (52-58°C) e velocidade do ar de secagem (0,6-

1,4 m/s). A temperatura de pico de gelatinização do amido das farinhas variou de 67,9 a 68,6°C. Valores próximos foram observados por Waliszewski et al. (2003) para o amido da mesma variedade de banana (69,5°C).

Cor Instrumental

A cor dos alimentos é dependente das circunstâncias sob as quais eles são vistos e da habilidade do material em refletir, dispersar, absorver ou transmitir a luz visível. A secagem altera as propriedades físicas e químicas do produto e pode-se esperar que sejam alteradas suas habilidades em refletir, absorver e transmitir a luz, modificando assim a cor dos alimentos (OLIVEIRA, 2007). Na Figura 10 é apresentada a relação dos parâmetros de cor, com suas respectivas tonalidades e luminosidades.

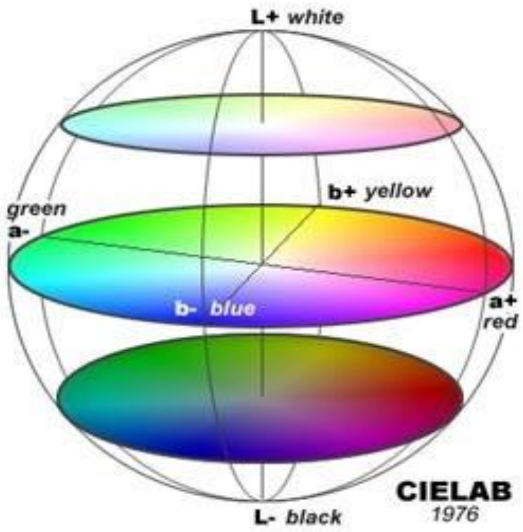


Figura 10. Representação do sistema de cor L* a* b*

A análise de variância para a luminosidade (L*) da farinha de banana é apresentada na Tabela 10, onde pode ser observado que a temperatura foi a única variável que apresentou efeito significativo ($p<0,05$) linear sobre o parâmetro. O aumento da temperatura de secagem provocou a redução da luminosidade (Figura 11), o que pode estar relacionado com um efeito de escurecimento da farinha. O valor do coeficiente de determinação para a regressão (R^2 = 0,8910) indica que a Equação 15, que prediz a superfície de resposta, explica 89,10% da variação total do parâmetro de cor L*; podendo também ser considerado um bom ajuste.

Tabela 10. Análise de variância para a variável luminosidade (L*) da farinha de banana.

Fator	SQ	GL	MQ	F	P
(1) T (L)	33,8438	1	33,8437	79,8509	0,0123
T (Q)	2,8422	1	2,8422	6,7059	0,1223
(2) EM (L)	0,8588	1	0,8588	2,0263	0,2906
EM (Q)	4,0911	1	4,0911	9,6525	0,0898
1L x 2L	0,2304	1	0,2304	0,5436	0,5377
Falta de ajuste	4,0991	3	1,3664	3,2238	0,2457
Erro puro	0,8477	2	0,4238		
Total	45,3860	10			

SQ – Soma quadrada; GL – Graus de liberdade; MQ – Média quadrada.

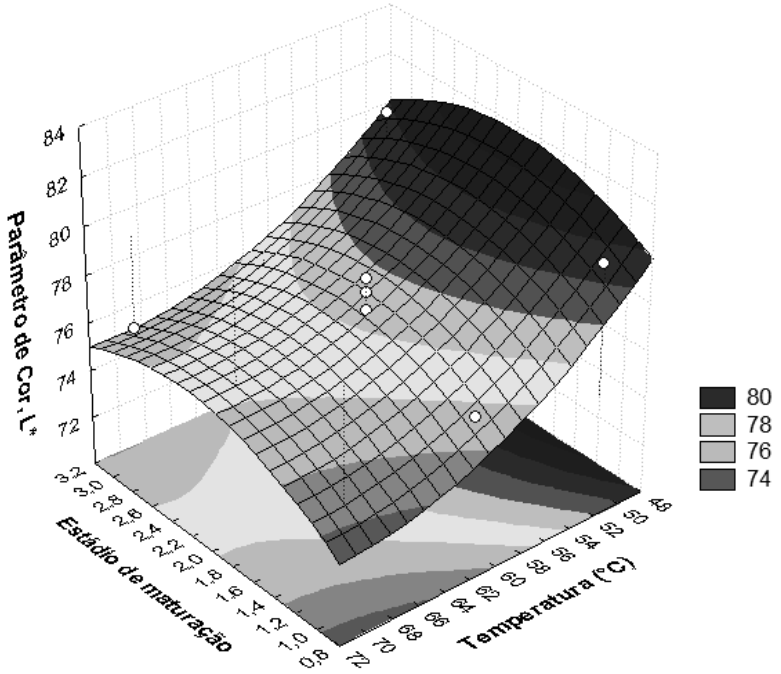


Figura 11. Superfície de resposta para a variável luminosidade (L*) da farinha de banana.

$$L^* = 126,79 - 1,56T + 0,01T^2 + 4,02EM - 1,27EM^2 + 0,02T.EM \qquad (15)$$

Apesar do valor de L* ter variado de 74,05 a 80,45 para as farinhas, novamente não foi observado efeito significativamente ($p \geq 0,05$) do estádio de maturação da banana sobre o parâmetro, o que sugere que o aumento da concentração de açúcares, com o estádio de maturação, não interferiu significativamente na evolução do escurecimento da farinha, nas condições avaliadas.

Pacheco-Delahaye et al. (2008) obtiveram farinhas mais escuras quando processadas em tambor rotativo, em comparação com as obtidas por liofilização e secagem em bandejas, e sugerem a ocorrência de reação de *Maillard* nas farinhas obtidas em tambor rotativo.

A análise de variância para o parâmetro de cromaticidade a* da farinha de banana é apresentado na Tabela 11. Também para esse parâmetro o único efeito significativo observado ($p<0,05$) foi o efeito linear da temperatura. A superfície de resposta da Figura 12 indica a relação de proporcionalidade direta entre a temperatura de secagem e o parâmetro a*. O valor do coeficiente de determinação para a regressão (R^2 = 0,8927) indica um bom ajuste, e que a Equação 16, que prediz a superfície de resposta, explica 89,27% da variação total do parâmetro.

Tabela 11. Análise de variância para a variável coordenada de cromaticidade a* da farinha de banana.

Fator	SQ	GL	MQ	F	P
(1) T (L)	0,3408	1	0,3408	36,4726	0,0263
T (Q)	0,0244	1	0,0244	2,6121	0,2474
(2) EM (L)	0,0888	1	0,0888	9,5048	0,0911
EM (Q)	0,0214	1	0,0214	2,2868	0,2696
1L x 2L	0,0049	1	0,0049	0,5244	0,5442
Falta de ajuste	0,0379	3	0,0126	1,3506	0,4522
Erro puro	0,0187	2	0,0093		
Total	0,5272	10			

SQ – Soma quadrada; GL – Graus de liberdade; MQ – Média quadrada.

A variação do parâmetro de cromaticidade a* para as diferentes condições de secagem (0,06-0,76), e a tendência observada, indicam que o aumento da temperatura de secagem estimulou a tendência ao vermelho da farinha, o que pode estar relacionado com o escurecimento não enzimático. De acordo com Sousa et al. (2003) a secagem favorece a hidrólise da sacarose, elevando a concentração de grupos redutores, o que promove o avanço de rotas de escurecimento como a caramelização e a reação de Maillard. Porém as condições de temperatura utilizadas não foram suficientes para justificar a ocorrência de caramelização. A caramelização necessita de maior energia de ativação, de modo que condições extremas de temperatura (maior que 120°C) e pH (pH < 3 ou pH > 9) necessitam ser aplicadas para causar caramelização de açúcares (MORALES; BOEKEL, 1999).

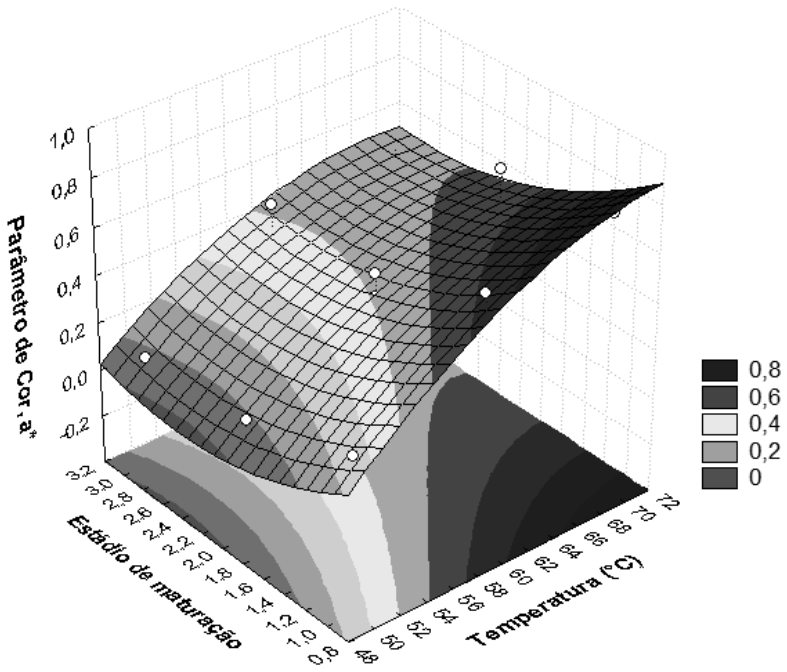


Figura 12. Superfície de resposta para a variável coordenada de cromaticidade a* da farinha de banana.

$$a^* = -4{,}36 + 0{,}15T - 9{,}8 \times 10^{-4} T^2 - 0{,}28EM + 0{,}09EM^2 - 3{,}5 \times 10^{-3} T.EM \qquad (16)$$

Para o parâmetro de cromaticidade b*, que variou de 11,40 a 13,32 para as farinhas obtidas nas diferentes condições de secagem, o resultado da análise de variância é apresentado na Tabela 12.

Tabela 12. Análise de variância para a variável coordenada de cromaticidade b* da farinha de banana.

Fator	SQ	GL	MQ	F	P
(1) T (L)	0,0037	1	0,0037	0,1293	0,7535
T (Q)	1,0317	1	1,0317	35,5846	0,0270
(2) EM (L)	0,2860	1	0,2860	9,8652	0,0882
EM (Q)	0,0354	1	0,0354	1,2199	0,3845
1L x 2L	0,0056	1	0,0056	0,1940	0,7026
Falta de ajuste	1,5799	3	0,5266	18,1650	0,0526
Erro puro	0,0580	2	0,0290		
Total	3,1917	10			

SQ – Soma quadrada; GL – Graus de liberdade; MQ – Média quadrada.

Apesar de ter sido observado um efeito quadrático significativo ($p<0{,}05$) da temperatura de secagem sobre o parâmetro b*, o valor do coeficiente de determinação para a regressão (R^2 = 0,4868) indica que a equação ajustada explica

somente 48,68% da variação total do parâmetro, sendo considerado um ajuste fraco. Desta forma não é possível sustentar que a tendência observada seja verdadeira. De qualquer forma os valores de b* indicaram uma tendência ao amarelo em todas as farinhas (11,40-13,32), o que fortalece as evidências de ocorrência da reação de Maillard com o aumento da temperatura.

Difusividade efetiva

A análise de variância para a difusividade efetiva é representada na Tabela 13, na qual pode ser observado que a temperatura foi novamente a única variável que apresentou efeito linear significativo ($p<0,01$) sobre a variável. A superfície de resposta apresentada na Figura 13 indica uma relação de proporcionalidade direta entre a temperatura de secagem e a difusividade. O coeficiente de determinação para a regressão (R^2 = 0,9617) indica um ajuste muito bom, e que a equação que prediz a superfície de resposta (Equação 17) explica 96,17% da variação total do parâmetro.

Os modelos teóricos que descrevem a taxa decrescente de secagem de um sólido consideram, geralmente, como mecanismo principal, a difusão baseada na segunda Lei de Fick, que expressa que o fluxo de massa por unidade de área é proporcional ao gradiente de concentração de água (PARK et al., 2002; ROMERO-PEÑA; KIECKBUSCH, 2003). De acordo com Babalis e Belessiotis (2004), a constante de secagem K do modelo de Page pode ser utilizada como boa aproximação para caracterizar o efeito da temperatura e está relacionada à difusividade efetiva de umidade no processo de secagem.

Tabela 13. Análise de variância para a variável difusividade efetiva da secagem da banana.

Fator	SQ	GL	MQ	F	P
(1) T (L)	1,2808	1	1,2808	205,6725	0,0048
T (Q)	0,0227	1	0,0227	3,6535	0,1961
(2) EM (L)	0,0368	1	0,0368	5,9153	0,1355
EM (Q)	0,0005	1	0,0005	0,0765	0,8081
1L x 2L	0,0673	1	0,0673	10,8038	0,0814
Falta de ajuste	0,0438	3	0,0146	2,3448	0,3129
Erro puro	0,0124	2	0,0062		
Total	1,4681	10			

SQ – Soma quadrada; GL – Graus de liberdade; MQ – Média quadrada.

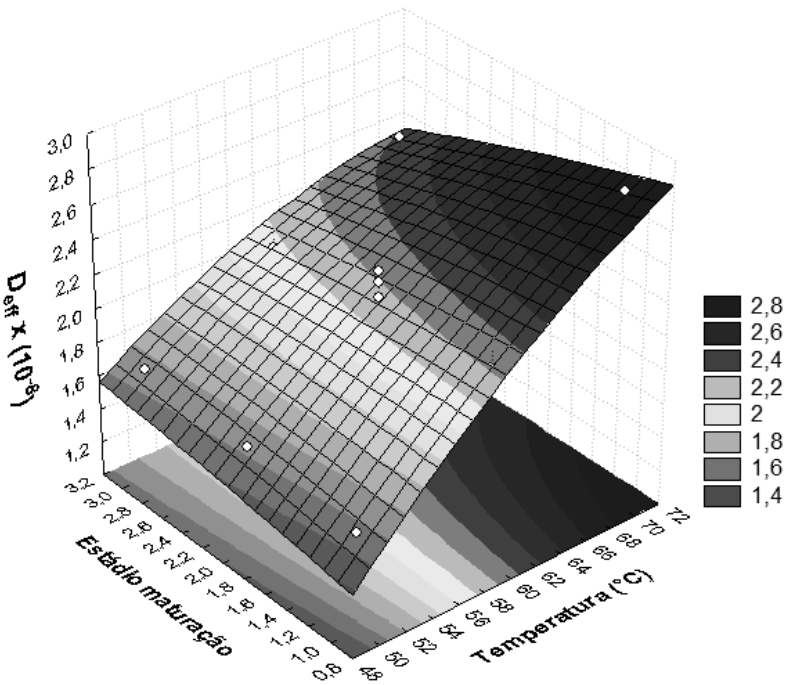


Figura 13. Superfície de resposta para a variável difusividade efetiva da secagem da banana.

$$D_{eff}\left(m^2/s\right) = 5{,}46 + 0{,}186T - 0{,}0009T^2 + 0{,}75EM - 0{,}0137EM^2 - 0{,}013T.EM \qquad (17)$$

A difusividade efetiva das farinhas de banana obtidas variou de 1,57 x 10^{-8} a 2,82 x 10^{-8} m^2/s. Os valores estão dentro da faixa de 10^{-12} a 10^{-8} m^2/s, estipulada por Zogzas et al. (1996) para alimentos, porém acima de valores obtidos para produtos de origem agrícola (10^{-11} a 10^{-9} m^2/s), pelos mesmos autores.

Em um estudo sobre a influência de pré-tratamentos na cinética de secagem da banana variedade Terra, em diferentes temperaturas, Santos et al. (2010b) encontram valores de difusividade que variaram entre 2,49 x 10^{-10} a 1,02 x 10^{-9} m^2/s e verificaram que os fatores que exerceram efeito significativo sobre a difusividade efetiva foram a espessura das fatias da banana (2 e 4 mm) e a temperatura de secagem (60 e 80°C), o primeiro um efeito de proporcionalidade inversa e o segundo direta, como observado no presente estudo.

Nguyen e Price (2007) estudaram a secagem de banana ao ar, em temperaturas de 50 a 70°C, e encontraram valores de difusividade efetiva (D_{eff}) entre 3,2 x 10^{-10} e 7,8 x 10^{-10} m^2/s, para amostras com 10 mm de espessura e de 10,8 x 10^{-10} a 22,7 x 10^{-10} m^2/s para as amostras com 20 mm. Silva et al. (2009), ao estudarem a cinética de secagem de fatias de banana variedade Maçã na mesma

faixa de temperatura obtiveram valores de difusividade efetiva entre 3,31 x 10^{-10} e 1,25 x 10^{-9} m^2/s.

Em um estudo de secagem em camada delgada de pimenta de cheiro, Pontes et al. (2009) utilizaram condições de temperatura (50, 60 e 70°C) e velocidade do ar de secagem (1,5 m/s) iguais aos utilizados no presente trabalho, e obtiveram valores de difusividade efetiva (D_{eff}) da mesma ordem de grandeza: na faixa de 10^{-8} m^2/s para as secagens a 60 e 70°C e de 10^{-9} m^2/s, para a secagem a 50°C.

Tempo de secagem

Para efeitos de comparação do tempo de secagem foi utilizado o tempo necessário para umidade dos produtos atingir 10% b.s., que corresponde a farinhas com umidades finais próximas de 9%; atendendo assim a legislação brasileira (BRASIL, 2005), que estabelece com 15% a umidade máxima para farinhas.

De acordo com a ANOVA (Tabela 14), apenas a temperatura de secagem apresentou efeito significativo ($p<0,01$) sobre o tempo de secagem, que variou de 2,7 a 5,9 h. Na superfície de resposta (Figura 14), pode ser observado que o aumento da temperatura provocou uma redução linear no tempo de secagem. O coeficiente de determinação para a regressão (R^2 = 0,9657) indicou um ajuste muito bom, e que a Equação 18, que prediz a superfície de resposta, explica 96,57% da variação total do tempo. Apesar das bananas estarem em diferentes estádios de maturação (2-9°Brix), esta variável não provocou efeito significativo ($p\geq0,05$) sobre o tempo de secagem, nas condições estudadas, o que pode ser uma informação importante a nível de processo.

Tabela 14. Análise de variância para a variável tempo de secagem da banana Nanicão.

Fator	SQ	GL	MQ	F	P
(1) T (L)	8,3994	1	8,3994	171,6794	0,0058
T (Q)	0,3327	1	0,3327	6,7999	0,1209
(2) EM (L)	0,1245	1	0,1245	2,5458	0,2516
EM (Q)	0,1263	1	0,1263	2,5826	0,2493
1L x 2L	0,3804	1	0,3804	7,7748	0,1081
Falta de ajuste	0,2398	3	0,0799	1,6339	0,4015
Erro puro	0,0978	2	0,0489		
Total	9,8538	10			

SQ – Soma quadrada; GL – Graus de liberdade; MQ – Média quadrada.

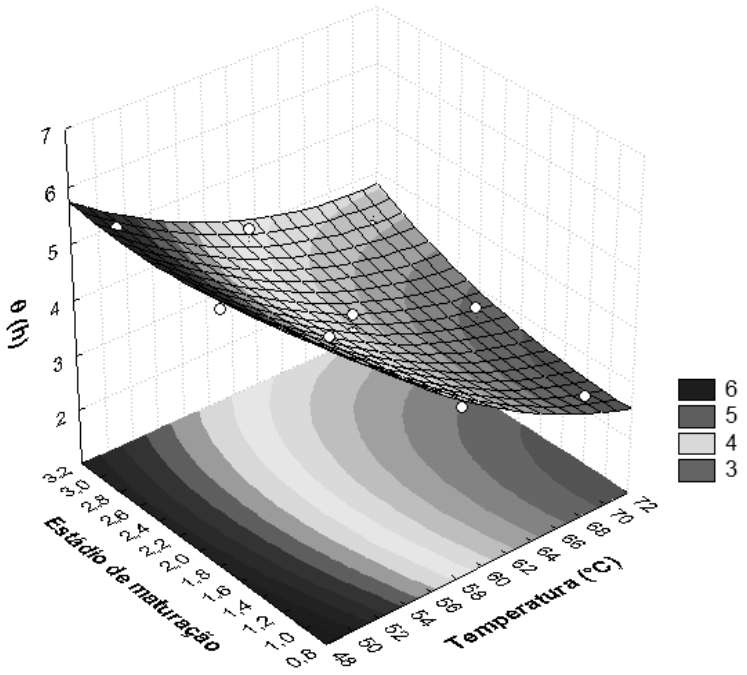


Figura 14. Superfície de resposta para a variável de tempo de secagem da banana Nanicão.

$$\theta(h) = 28{,}20 - 0{,}61T + 0{,}0036T^2 - 2{,}60EM + 0{,}22EM^2 + 0{,}03T \cdot EM \qquad (18)$$

Nguyen e Price (2007) observaram que valores altos de temperatura e velocidade de secagem favorecem maior transferência de massa e calor, em função do coeficiente de difusão, diminuindo assim o tempo necessário para atingir menores valores de umidade.

Açúcares redutores

O teor de açúcares redutores (AR) é uma variável importante no estudo realizado, pois está diretamente relacionada com o estádio de amadurecimento das bananas, além de poder sofrer influência da temperatura, nas condições de secagem utilizadas. Na Tabela 15 é apresentado o resultado da análise de variância para essa variável.

A ANOVA indica que a variável temperatura apresentou efeitos linear e quadrático significativos ($p<0{,}05$) e o estádio de maturação (EM) da banana, efeito linear significativo ($p<0{,}01$), sobre o teor de açúcares redutores da farinha de banana, os quais podem ser observados na superfície de resposta da Figura 15. O valor do coeficiente de determinação para a regressão (R^2 = 0,9867) demonstra que

a Equação 19, que prediz a superfície de resposta, explica 98,67% da variação total de açúcar redutor; sendo considerado um excelente ajuste.

Tabela 15. Análise de variância para a variável teor de açúcares redutores da farinha de banana.

Fator	SQ	GL	MQ	F	P
(1) T (L)	3,6817	1	3,6817	61,2590	0,0159
T (Q)	2,4461	1	2,4461	40,7005	0,0237
(2) EM (L)	8,4966	1	8,4966	141,3744	0,0070
EM (Q)	0,0013	1	0,0013	0,0216	0,8967
1L x 2L	0,4356	1	0,4356	7,2479	0,1147
Falta de ajuste	0,0850	3	0,0283	0,4717	0,7333
Erro puro	0,1202	2	0,0601		
Total	15,4862	10			

SQ – Soma quadrada; GL – Graus de liberdade; MQ – Média quadrada.

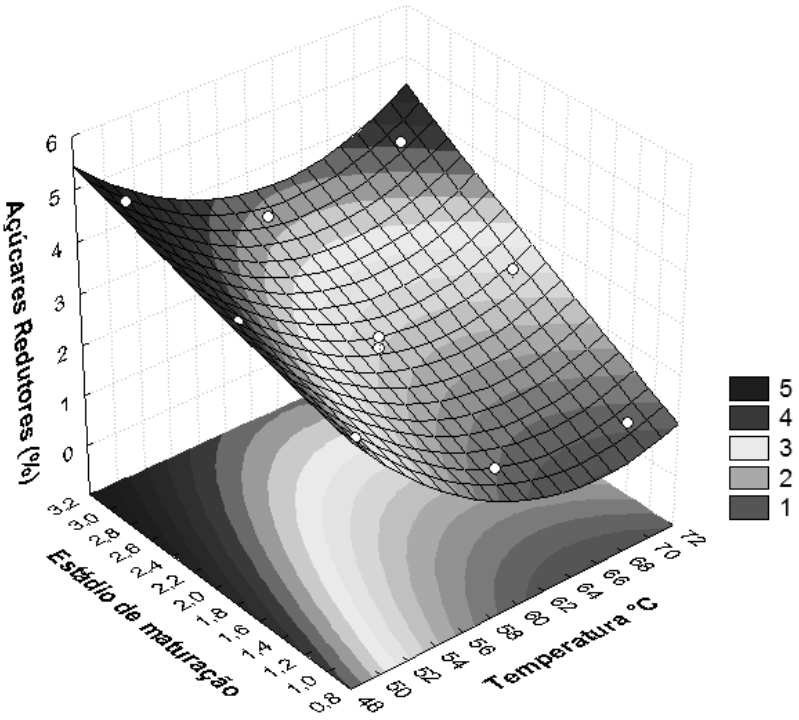


Figura 15. Superfície de resposta para a variável teor de açúcares redutores da farinha de banana.

$$AR(\%) = 44,30 - 1,32T + 0,01T^2 - 0,88EM + 0,02EM^2 + 0,03T.EM \qquad (19)$$

De acordo com a superfície de resposta, de maneira geral, tanto a secagem a 60°C quanto a 70°C provocaram a redução do teor de açúcares redutores do

produto, em relação à secagem realizada a 50°C, para um mesmo estádio de maturação da banana; porém a redução foi mais significativa na secagem realizada a 60°C (ponto de mínimo na superfície de resposta), para as bananas nos estádios de maturação 2 e 3. Esse comportamento confirma o consumo de açúcares redutores durante o processo de secagem, nas condições de temperatura utilizadas, o que é atribuído à reação de Maillard.

A reação de Maillard envolve uma série de passos que inicia com a reação entre grupamentos carbonila ou cetona do açúcar redutor e o grupamento amino do aminoácido, peptídeo ou proteína, contribuindo para o escurecimento dos alimentos, devido às melonoidinas formadas. Essa reação sofre influência decisiva da temperatura, sendo violenta a 150°C, rápida a 100°C e lenta a 67ºC. A velocidade de escurecimento aumenta exponencialmente com a temperatura, em aproximadamente 5,3 vezes para cada 10°C de elevação da temperatura do ar de secagem (COELHO; VILELA; CHAGAS, 1999; AGUIRRE, 2002).

A teoria descrita justifica os comportamentos observados: a temperatura de 50°C é totalmente desfavorável à reação de Maillard, por isso os teores de açúcares redutores das farinhas, nessa condição, foram mais elevados; apesar da temperatura de 60°C ser pouco favorável à reação de Maillard, o tempo de secagem nessa condição provavelmente favoreceu a reação; já a temperatura de 70°C é uma condição favorável a reação, embora ainda de forma lenta. O fato da farinha de banana ter apresentado um teor de açúcares redutores superior para a secagem a 70°C, principalmente no estádio de maturação 3, pode ser atribuída ao teor de açúcares totais mais elevado.

A ANOVA evidenciou também um efeito linear significativo ($p<0,01$) do estádio de maturação sobre os açúcares totais das farinhas, o que era esperado, em função do grau de maturação da banana, pois a conversão do amido em açúcares simples é uma das mudanças mais notáveis, no amadurecimento da banana. O fruto verde contém elevado teor de amido (≈20%), o qual é transformado, predominantemente, em açúcares redutores (8 a 10% de glicose e frutose) e sacarose (10 a 12%). Na fase madura, a porcentagem de amido é reduzida para 0,5 a 2,0% (ROCHA, 1984).

Açúcares totais

A ANOVA do efeito da temperatura de secagem e do estádio de maturação da banana sobre a concentração de açúcares totais da farinha de banana é

apresentada na Tabela 16. Foram observados efeitos linear ($p<0,01$) e quadrático ($p<0,05$) da temperatura de secagem, linear ($p<0,01$) do estádio de maturação da banana, e o efeito combinado das variáveis ($p<0,05$) sobre a concentração de açúcares totais da farinha.

O valor do coeficiente de determinação para a regressão (R^2 = 0,9936) demonstra que a Equação 20, que prediz a superfície de resposta representada na Figura 16, explica 99,36% da variação total da concentração de açúcares totais da farinha, o que representa um excelente ajuste.

Tabela 16. Análise de variância para a variável teor de açúcares totais da farinha de banana.

Fator	SQ	GL	MQ	F	P
(1) T (L)	21,2152	1	21,2152	514,9320	0,0019
T (Q)	0,9207	1	0,9207	22,3470	0,0419
(2) EM (L)	77,5610	1	77,5610	1882,5480	0,0005
EM (Q)	0,1684	1	0,1684	4,0880	0,1805
1L x 2L	3,4552	1	3,4552	83,8650	0,0117
Falta de ajuste	0,5864	3	0,1954	4,7440	0,1790
Erro puro	0,0824	2	0,0412		
Total	104,2988	10			

SQ – Soma quadrada; GL – Graus de liberdade; MQ – Média quadrada.

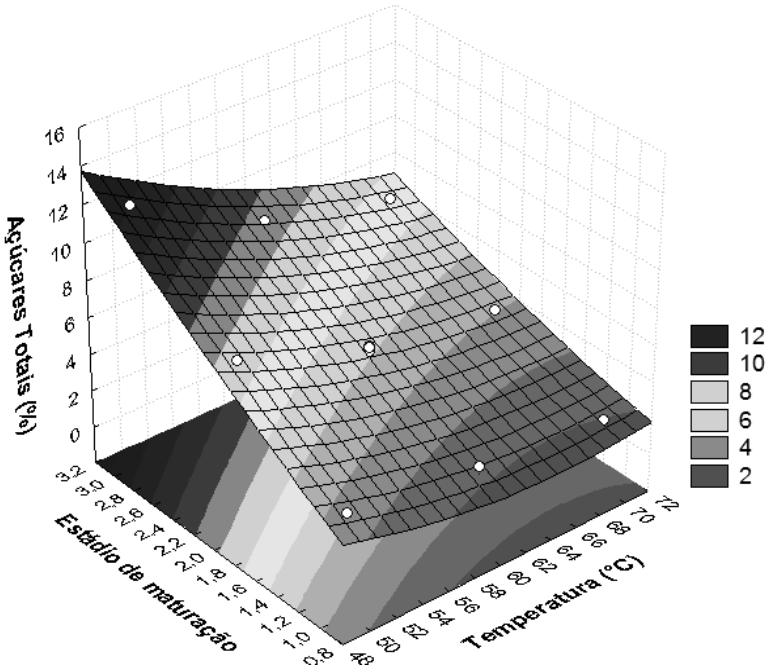


Figura 16. Superfície de resposta para a variável teor de açúcares totais da farinha de banana.

$$AT(\%) = 21,42 - 0,72.T + 0,006.T^2 + 8,14.EM + 0,258.EM^2 - 0,09.T.EM \quad (20)$$

A concentração de açúcares totais da farinha aumentou com o estádio de maturação da banana, o que já era esperado, visto que a evolução da maturação da fruta consiste na conversão do amido em açúcares simples (SANTOS et al., 2006). Por outro lado o aumento da temperatura de secagem provocou redução na concentração dos açúcares totais da farinha, com maior variação para o estádio de maturação 3 (8-14%), que para o estádio de maturação 1 (2-6%).

A redução na concentração de açúcares totais com o aumento da temperatura de secagem pode ser atribuída à hidrólise da sacarose, seguida da conversão da glicose formada em produtos da reação de Maillard, visto que os açúcares redutores também reduziram com o aumento da temperatura de secagem (Figura 15). Segundo Seymour, Taylor e Tucker (1993), a sacarose é o açúcar predominante na polpa da banana, nos primeiros estádios de maturação, quando a conversão de amido em sacarose é predominante em relação à conversão de sacarose em glicose e frutose. Um aumento de 10°C na temperatura pode aumentar consideravelmente a constante de velocidade da reação de hidrólise da sacarose, até a faixa de temperatura de 60 a 70°C (NAJAFPOUR; SHAN, 2002; DEUNER et al., 2005).

Índice de absorção de água

O índice de absorção de água (IAA) indica a quantidade de água absorvida pelos grânulos de amidos, quando uma amostra amilácea é submetida a tratamento térmico (ANDERSON et al., 1969). O índice está relacionado com a disponibilidade de grupos hidrofílicos (-OH) em se ligar às moléculas de água, e com a capacidade das moléculas de amido para formar gel. Somente os grânulos de amido gelatinizados absorvem água em temperatura ambiente e incham (GUHA; ALI; BHATTACHARYA, 1998), pois somente grânulos de amido danificados absorvem água nessa condição de temperatura, resultando no aumento da viscosidade da solução. Após atingir um máximo, com o máximo grau de amido danificado, o IAA diminui com início da dextrinização (ASCHERI, 1997).

O IAA variou de 2,87 a 3,31 g de gel/g b.s., porém de acordo com a análise de variância (Tabela 17), nem a temperatura de secagem, nem o estádio de maturação da banana apresentaram efeito significativo ($p \geq 0,05$) sobre a variável.

Apesar de não ter sido observada falta de ajuste ($p \geq 0,05$), o valor do coeficiente de determinação para a regressão ($R^2 = 0,7851$) é considerado regular, pois indica que a equação ajustada explicou apenas 78,51% da variação total do parâmetro. Assim, não se pode afirmar que as tendências preditas pelo modelo sejam totalmente verdadeiras.

Tabela 17. Análise de variância para a variável índice de absorção de água (IAA) da farinha de banana.

Fator	SQ	GL	MQ	F	P
(1) T (L)	0,1219	1	0,1219	6,2865	0,1290
T (Q)	0,0095	1	0,0095	0,4923	0,5555
(2) EM (L)	0,0391	1	0,0391	2,0187	0,2912
EM (Q)	0,0134	1	0,0134	0,6930	0,4927
1L x 2L	0,0024	1	0,0024	0,1227	0,7595
Falta de ajuste	0,0109	3	0,0036	0,1879	0,8969
Erro puro	0,0388	2	0,0194		
Total	0,2313	10			

SQ – Soma quadrada; GL – Graus de liberdade; MQ – Média quadrada.

Os valores de IAA observados encontraram-se na faixa obtida para a farinha de batata doce, relatados por Borba, Sarmento e Leonel (2005) (3,1g de gel/g b.s.) e para farinhas de arroz crua (2,38-2,87 g de gel/g b.s.) e pré-gelanitinizada (3,09-7,05 g de gel/g b.s.), por Lai (2001). Aguirre-Cruz et al. (2008) observaram valores de IAA menores para a farinha de banana da variedade Prata (1,8-2,9 g de gel/g b.s.). Os autores observaram aumento no IAA entre 50 e 75°C, e redução entre 75 e 90°C. Uma alta capacidade de absorção de água é desejável em farinhas para o preparo de sopas, mingaus e pudins instantâneos (TORRES et al., 2005).

Índice de solubilidade em água

Embora o índice de solubilidade em água (ISA) da farinha de banana tenha variado (2,68-4,92%), da mesma forma que para o IAA não foram observados efeitos estatisticamente significativos ($p \geq 0,05$) das variáveis temperatura de secagem e estádio de maturação da banana sobre o ISA, nas condições estudadas (Tabela 18). Porém o coeficiente de determinação para a regressão ($R^2 = 0,5917$) foi fraco, indicando que a equação ajustada explica apenas 59,17% da variação total do

parâmetro. Dessa forma não se pode sustentar como verdadeiras as tendências preditas pelo modelo, embora não tenha sido observada falta de ajuste ($p \geq 0,05$).

Tabela 18. Análise de variância para a variável índice de solubilidade em água (ISA) da farinha de banana.

Fator	SQ	GL	MQ	F	P
(1) T (L)	0,0015	1	0,0015	0,0067	0,9415
T (Q)	0,3517	1	0,3517	1,5707	0,3367
(2) EM (L)	1,2955	1	1,2955	5,7860	0,1379
EM (Q)	0,6530	1	0,6530	2,9162	0,2298
1L x 2L	0,1311	1	0,1311	0,5853	0,5242
Falta de ajuste	1,4737	3	0,4912	2,1938	0,3283
Erro puro	0,4478	2	0,2239		
Total	4,7064	10			

SQ – Soma quadrada; GL – Graus de liberdade; MQ – Média quadrada.

Os valores de ISA das farinhas de banana estão de acordo com os resultados observados por Muyonga, Ramteke e Eipeson (2001), para farinhas de banana verde (*Musa cavendishii*) obtidas por secagem (60-65°C) das bananas após pré-cozimento, para facilidade da remoção das cascas (2,78-3,20%). Lai (2001) obteve ISA na faixa de 1,98 a 15,57% para farinha de arroz pré-gelatinizadas e de 3,15 a 9,84% para farinha de arroz crua.

Silva e Silva (2005) relacionam o aumento do ISA do amido da banana Nanica, com o aumento da temperatura, e constataram que o amido da banana gelatinizou mais lentamente e inchou menos que o amido de mandioca e de batata. Os autores observaram também uma alta correlação linear (R^2 = 0,9997) entre o poder de inchamento e a solubilização do amido da banana Nanica.

O Índice de Solubilidade em Água (ISA) indica a intensidade do tratamento térmico e consequente desramificação da estrutura amilácea (ANDERSON et al., 1969; FERNANDES et al., 2002). O índice expressa a porcentagem da matéria seca recuperada após a evaporação do sobrenadante da determinação da absorção de água e está relacionada com a quantidade de moléculas solúveis e com o grau de dextrinização (ASCHERI, 1997). O ISA reflete o grau de degradação total do grânulo de amido, sendo a somatória dos efeitos de gelatinização e de dextrinização.

O aumento da solubilidade do amido com a gelatinização é a base para a confecção de alimentos amiláceos semi-prontos. Segundo Silva e Silva (2005), algumas farinhas pré-gelatinizadas, como a de batata, são parcialmente solúveis em

água fria, em razão do seu elevado ISA. Santos et al. (2010a) observaram valores de ISA de 4,73% para a farinha de batata bruta e de 24% para a mesma farinha, após pré-gelatinização. Borba, Sarmento e Leonel (2005) observaram ISA de 16,6%, para a farinha de batata doce.

Com base nos valores de ISA observados para farinhas pré-gelatinizadas, as farinhas de banana Nanicão obtidas nas diferentes condições não são recomentadas para preparos alimentícios com água à temperatura ambiente, necessitando de cozimento, que é uma característica das farinhas amiláceas.

4.2 AVALIAÇÃO GRANULOMÉTRICA DAS FARINHAS

A análise granulométrica avaliou a distribuição do tamanho de partículas das farinhas de banana obtidas nas diferentes condições de secagem, e os resultados são apresentados na Tabela 19. Foi realizada a análise de variância para a fração das farinhas passante nas peneiras 60 e 200 mesh, cujos resultados são apresentados nas Tabelas 20 e 21, respectivamente. Não foram observados efeitos estatisticamente significativos ($p \geq 0,05$) da temperatura de secagem e do estádio de maturação da banana sobre nenhuma das frações, embora as frações passantes nas peneiras 60 mesh (250 μm) (67,91-76,95%) e 200 mesh (75 μm) (30,84-48,89%) tenham variado substancialmente. A fração retida na peneira 60 mesh (250 μm) não representou mais do que 33,8%, para nenhuma farinha.

Tabela 19. Avaliação granulométrica das farinhas de banana Nanicão obtidas nas diferentes condições de secagem.

Estádio de maturação	Temperatura de secagem (°C)	% Retida			% Passante	
		60 mesh	200 mesh	Fundo	60 mesh	200 mesh
EM 1	50	30,51	23,43	46,24	69,67	46,24
	60	33,79	33,04	34,87	67,91	34,87
	70	33,64	37,53	30,84	68,37	30,84
EM 2	50	29,67	23,24	48,58	71,82	48,58
	60	23,40	42,18	34,76	76,95	34,76
	60	32,04	28,02	41,46	69,48	41,46
	60	31,72	25,04	44,90	69,95	44,90
	70	25,01	38,72	37,51	76,24	37,51
EM 3	50	29,29	22,65	48,89	71,54	48,89
	60	21,69	29,86	40,09	69,96	40,09
	70	25,13	32,01	44,57	76,58	44,57

Tabela 20. Análise de variância para a percentagem da farinha de banana passante na peneira de 60 mesh.

Fator	SQ	GL	MQ	F	P
(1) T (L)	11,0976	1	11,0976	0,6340	0,5094
T (Q)	13,0843	1	13,0843	0,7475	0,4784
(2) EM (L)	24,5228	1	24,5228	1,4010	0,3582
EM (Q)	20,1799	1	20,1799	1,1529	0,3953
1L x 2L	10,0489	1	10,0489	0,5741	0,5277
Falta de ajuste	5,4585	3	1,8195	0,1039	0,9505
Erro puro	35,0073	2	17,5036		
Total	112,6161	10			

SQ – Soma quadrada; GL – Graus de liberdade; MQ – Média quadrada.

Tabela 21. Análise de variância para a percentagem da farinha de banana passante na peneira de 200 mesh.

Fator	SQ	GL	MQ	F	P
(1) T (L)	158,0040	1	158,0040	5,9421	0,1350
T (Q)	40,1025	1	40,1025	1,5081	0,3443
(2) EM (L)	77,7600	1	77,7600	2,9243	0,2294
EM (Q)	6,3749	1	6,3749	0,2397	0,6728
1L x 2L	30,6916	1	30,6916	1,1542	0,3951
Falta de ajuste	7,3232	3	2,4411	0,0918	0,9579
Erro puro	53,1811	2	26,5905		
Total	367,8151	10			

SQ – Soma quadrada; GL – Graus de liberdade; MQ – Média quadrada.

O coeficiente de determinação para a regressão da variável percentagem da farinha passante na peneira 60 mesh (R^2 = 0,6407) é considerado apenas regular, pois indica que a equação ajustada explicou apenas 64,07% da variação total do parâmetro. Esse nível de correlação não permite afirmar que as tendências preditas pelo modelo sejam verdadeiras, embora não tenha sido observada falta de ajuste ($p \geq 0,05$).

Para a variável percentagem da farinha passante na peneira 200 mesh, o coeficiente de determinação para a regressão (R^2 = 0,8355) indica que a Equação 21 explicou 83,5% da variação total do parâmetro. A inexistência de falta de ajuste ($p \geq 0,05$) e esse nível de correlação já permitem afirmar com maior segurança que as tendências preditas pelo modelo sejam verdadeiras.

$$\% < 200\,mesh = 233,57 - 5,84T + 0,04T^2 - 6,67EM - 1,59EM^2 + 0,28T.EM \qquad (21)$$

Segundo Borges et al. (2006) as características granulométricas de uma farinha constituem aspectos relevantes na elaboração de massas alimentícias, pois a distribuição adequada das partículas permite maior uniformidade do produto elaborado, influenciando diretamente na capacidade de absorção de água e nas características sensoriais, como aparência, sabor e textura, e no tempo de cozimento.

4.3 CARACTERIZAÇÃO DAS FARINHAS DE BANANA

4.3.1 Composição das farinhas de banana

As composições apresentadas na Tabela 22 são referentes às farinhas obtidas a partir das bananas em um mesmo estádio de maturação (1, 2 e 3), secas nas três diferentes temperaturas de secagem (50, 60 e 70°C), as quais foram misturadas na proporção de 1/3 (um terço).

A variação mais representativa na composição das farinhas está relacionada com a redução do amido total em detrimento do aumento dos açúcares totais e redutores. Esse comportamento já era esperado, visto que as principais transformações que ocorrem no processo de amadurecimento da banana são a hidrólise do amido para produzir sacarose (açúcar não redutor), e a subsequente hidrólise da sacarose para produzir glicose e frutose (açúcares redutores) (CORDENUNSI; LAJOLO, 1995; MOTA, 1997).

Tabela 22. Composição das farinhas de banana Nanicão nos diferentes estádios de maturação.

Parâmetro	Valores em 100 g da farinha*		
	Farinha EM1	**Farinha EM2**	**Farinha EM3**
Umidade (g)	9,85±0,21[a]	9,64±0,11[a]	8,73±0,03[b]
Cinzas (g)	3,16±0,05[a]	3,26±0,04[a]	3,15±0,09[a]
Lipídios (g)	1,63±0,05[c]	2,24±0,05[b]	2,93±0,14[a]
Proteínas (N x 5,75) (g)	4,89±0,21[b]	5,74±0,21[a]	5,25±0,21[ab]
Carboidratos (g)	72,66±1,87[a]	69,28±2,67[a]	61,65±1,14[b]
Amido total (g)	70,07±1,85[a]	63,89±2,67[b]	52,65±1,14[c]
Açúcares totais (g)	2,88±0,03[c]	5,99±0,11[b]	10,00±0,14[a]
Açúcares redutores (g)	2,05±0,08[c]	2,95±0,12[b]	4,43±0,15[a]
Valor calórico (kcal)	326,06±8,07[a]	322,68±11,12[a]	297,98±3,76[a]

Farinha EM1 – Banana no estádio de maturação 1 (2-3°Brix); Farinha EM2 – Banana no estádio de maturação 2 (5-6°Brix); Farinha EM3 – Banana no estádio de maturação 3 (8-9°Brix). *Médias de três repetições ± desvio padrão. Letras diferentes na mesma linha indicam diferença significativa (Teste de Tukey a 5% de significância).

Foram observadas correlações lineares entre a redução do amido e o aumento dos açúcares totais (R^2 = 0,9913), a redução do amido e o aumento do teor de sacarose (R^2 = 0,9839), a redução do amido e o aumento da concentração glicose/frutose (R^2 = 0,9993), e entre o aumento da concentração de sacarose e de glicose/frutose (R^2 = 0,9899), entre as farinhas; em função do aumento do estádio de maturação da banana.

A umidade das farinhas de banana nos diferentes estádios de maturação (8,73-9,85%) atendeu a legislação brasileira, que estabelece o valor máximo de 15% de umidade para produtos de frutas secas ou desidratados de frutas (BRASIL, 2005). Menezes et al. (2011) observaram valor médio de umidade de 6,9% para farinha de banana Nanicão com 3,5°Brix, secas em rodelas 4 mm de espessura, a 55°C , com velocidade do ar de secagem de 1 m/s. Moraes Neto et al. (1998) obtiveram umidades médias de 7,2% e 13,8% para farinhas de banana Prata verde e madura, respectivamente.

Para a banana *in natura*, nos diferentes estádios de maturação, a umidade obtida teve um valor médio de 76,59% com desvio padrão inferior a 0,72%. Este valor está de acordo com o encontrado por Jesus et al. (2004) para genótipos selecionados no Banco Ativo de Germoplasma da Embrapa Mandioca e Fruticultura onde foi observado uma variação de 67,7% (Pacovan) a 78,9% (Prata Graúda). Também está de acordo com a faixa apresentada por Sousa, Peixoto e Toledo (1995) para banana Nanicão verde (78%) e madura (72%).

Os teores dos resíduos minerais fixos (cinzas) das farinhas foram estatisticamente iguais ($p<0,05$) (média, 3,19%) e estão de acordo com o valor observado para farinhas da mesma variedade de banana, sem casca, por Menezes et al. (2011) (3,14%) e por Mota et al. (2000) (3,0%). Borges, Pereira e Lucena (2009) e Juarez-Garcia et al. (2006) observaram teores de cinzas de 2,68% e de 4,70% em farinhas de banana Prata verde, sem casca e com casca, respectivamente. De acordo com Valle (2003) a banana apresenta em média 396 mg de potássio por 100 g do fruto, o que representa 0,4%. Considerando a umidade média da banana Nanicão que foi de 76,59%, o teor de potássio seria de 1,7% em base seca. Com base nesse valor é possível afirmar que o potássio representa aproximadamente 50% do resíduo mineral fixo das farinhas de banana.

O teor de lipídios das farinhas aumentou significativamente ($p\geq0,05$) com o estádio de maturação da banana (1,63-2,93%). No processo de amadurecimento da

banana, além da conversão de carboidratos complexos em açúcares simples, ocorre a produção de aromas característicos, os quais são atribuídos principalmente aos ésteres, grupo de substâncias que estão correlacionadas com a identificação de lipídios (MORTON; MACLEOD, 1990). Emaga et al. (2007) caracterizaram as cascas de seis variedades de banana, em diferentes estádios de maturação, e observaram um aumento no teor de lipídios do estádio de maturação 1 (0,28-0,51%) para o estádio de maturação 7 (0,58-1,41%). Mota et al. (2000) e Menezes et al. (2011) observaram teores de lipídios em farinhas de banana Nanicão de 0,82 e 0,89%, respectivamente. Mota et al. (2000) e Fasolin et al. (2007) encontraram 0,78 e 1,89% de lipídios, respectivamente, em farinhas de banana Nanica.

Não foi observada uma tendência definida para o teor de proteínas, em função do estádio de maturação da banana, embora esse parâmetro tenha variado significativamente ($p \geq 0,05$) entre as farinhas (4,89-5,74%). Mota et al. (2000) e Menezes et al. (2011) encontraram 2,6 e 3,60% de proteína em farinhas de banana Nanicão, seca em leito fixo e liofilizada, respectivamente. Outros autores caracterizaram farinhas de banana e obtiveram teores protéicos distintos: Mota et al. (2000), 2,5 a 3,3% para diferentes variedades de banana; Borges, Pereira e Lucena (2009), 4,73% para banana Prata; e Haslinda et al. (2009) 6,28 a 6,77% para banana *Awak* ABB.

Conforme já mencionado o amido das farinhas foi o parâmetro que sofreu maior variação, de 70,07% para a farinha de banana no estádio de maturação 1 (verde) a 52,65% para a farinha de banana no estádio de maturação 3 (semi-madura), o que é atribuído a transformação de amido em açúcares durante o processo de maturação da banana (CORDENUNSI; LAJOLO, 1995; MOTA, 1997). A quantidade de amido observado na farinha de banana verde (estádio de maturação 1) está de acordo com Juarez-Garcia et al. (2006), que cita que o amido é o principal componente da banana verde, e representa de 60 a 80% da matéria seca do fruto. Menezes et al. (2011) observaram 76,77% de amido em farinha de banana Nanicão verde. Muyonga, Ramteke e Eipeson. (2001) observaram 70,64 e 75,90% de amido, respectivamente, em farinhas de banana verde da espécie *Musa cavendishii*, obtidas a partir de bananas secas entre 60 e 65°C, com e sem aplicação de cozimento à vapor para facilidade de remoção das cascas.

A redução da concentração do amido, em função da hidrólise, provocou o aumento significativo ($p \geq 0,05$) das concentrações de açúcares totais e redutores,

respectivamente, que aumentaram de 2,88% e 2,05%, para a farinha de banana no estádio de maturação 1 (verde), a 10,0% e 4,43%, para a farinha de banana no estádio de maturação 3 (semi-madura). Gamlath (2008) avaliou o efeito do estádio de maturação da banana variedade Cavendish, na composição das farinhas obtidas, e observou a diminuição na concentração de carboidratos (34,1; 31,2 e 29,8%) e o aumento dos sólidos solúveis totais (16,3; 21,4 e 23,5%), para os estádios de maturação 4, 5 e 6, respectivamente. Menezes et al. (2011) observaram 1,81% de açúcares redutores em farinha de banana Nanicão verde.

Pode ser observado na Tabela 22 que a soma dos componentes químicos determinados para as farinhas não atingiu os 100%. A diferença é atribuída principalmente às fibras alimentares, que não foram determinadas. Mota et al. (2000) e Menezes et al. (2011) observaram 6,28% e 7,20% de fibras alimentares em farinha de banana Nanicão verde, sem casca e com casca, respectivamente. Mota et al. (2000) e Ramos, Leonel e Leonel (2009) encontraram até 15,54% e 14,5% de fibras, respectivamente, em bananas verdes de outras variedades.

O valor calórico das farinhas de banana, nos três estádios de maturação, não sofreu variação significativa ($p<0,05$), e foi em média 315,57 kcal/100 g da farinha. Apesar da concentração de carboidratos totais (amido + açúcares totais) ter reduzido consideravelmente com o estádio de maturação, de 72,95% para a farinha de banana no estádio de maturação 1 a 62,65% para a farinha de banana no estádio de maturação 3, a concentração de lipídios aumentou de 1,63 a 2,93%, para as respectivas farinhas. O fato dos lipídios terem a maior contribuição na composição do valor calórico, fez com que os valores não diferissem estatisticamente. A TACO (2006) cita um valor de 340 kcal/100 g para farinha de banana e Borges et al. (2006) observou 373 kcal/100 g para a farinha de banana Prata.

4.3.2 Análise térmica das farinhas de banana

Na Figura 17 são apresentadas as endotermas de gelatinização dos amidos das farinhas obtidas a partir das bananas no estádio de maturação 1, secas a 50°C e 70°C. A temperatura *onset* (T_o), a temperatura de pico (T_p), a temperatura *endset* (T_f) e a entalpia de gelatinização (ΔH_{gel}) dos amidos são apresentadas na Tabela 23. Nessa análise foi utilizada apenas as farinhas obtidas da banana no estádio de maturação 1, secas a 50 e 70°C, por apresentarem o maior teor de amido, e serem as temperatura extremas utilizadas na secagem, respectivamente.

Os valores de T_p (75,51 e 76,67°C) foram superiores e os de ΔH_{gel} (2,38 e 2,44 J/g) inferiores aos observados por Tribess et al. (2009) (T_p: 67,95-68,63°C e ΔH_{gel}: 9,04-11,63), em amidos de farinhas da mesma variedade de banana. Porém, os valores de ΔH_{gel} estão de acordo com os observados por Paredes-Lopez et al. (1994) (2,30-5,06 J/g), para amidos de diferentes fontes amiláceas, e os valores de T_p estão de acordo com os observados por Mota et al. (2000), para amido de banana Nanicão (74,7°C) e Ouro Colatina (76,8°C) e por Bello-Perez et al. (2000), para amidos de bananas variedades Macho (74,5°C) e Criollo (75,0°C).

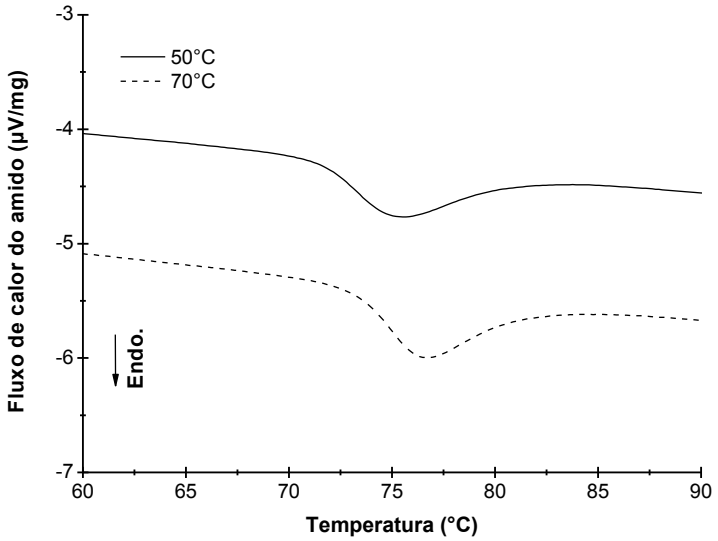


Figura 17. Endotermas de gelatinização dos amidos das farinhas de banana verde (estádio de maturação 1) secas a 50°C e 70°C.

Tabela 23. Propriedades de gelatinização dos amidos das farinhas de banana verde (estádio de maturação 1) secas a 50°C e 70°C.

Farinha	Parâmetro			
	T_o (°C)	T_p (°C)	T_f (°C)	ΔH_{gel} (J/g)
Secagem 50°C	71,18	75,51	81,02	2,38
Secagem 70°C	73,08	76,67	81,73	2,44

T_o: Temperatura *onset*; T_p: Temperatura de pico; T_f: Temperatura de *endset*; ΔH_{gel}: Entalpia de gelatinização.

Os amidos das duas farinhas apresentam o mesmo formato de pico, com praticamente a mesma amplitude (Figura 17), bem como entalpias de gelatinização com variabilidade inferior a 2% (Tabela 23). Porém, a temperatura de pico (T_p) de gelatinização do amido da banana seca a 70°C sofreu um acréscimo de 1,16°C, em relação a banana seca a 50°C (deslocamento do pico para a direita) (Figura 17). De acordo com Paredes-Lopez et al. (1994), esse comportamento sugere que os efeitos

térmicos da secagem a 70°C provocaram maior heterogeneidade dos cristais de amilopectina constituintes do amido da banana, tornando-o mais resistente à gelatinização.

4.4 CINÉTICA DE SECAGEM DA BANANA NANICÃO

Os efeitos da temperatura de secagem (50, 60 e 70°C) e do estádio de maturação das bananas (EM1, EM2 e EM3) sobre o comportamento das curvas de secagem (MR (adimensional) *versus* tempo (min)) serão avaliados separadamente. Os dados de secagem para as diferentes condições de temperatura e estádio de maturação das bananas são apresentados na Tabela 24. A Figura 18 apresenta a triplicata das curvas de secagem obtidas a 60°C com a banana no estádio de maturação 2, a partir da qual é possível constatar que a reprodução dos dados pelo secador foi muito boa.

Tabela 24. Dados de secagem da banana Nanicão nos diferentes estádios de maturação e temperatura de secagem.

Tempo (min)	**Relação de umidade (MR)**										
	EM 1			**EM 2**					**EM 3**		
	50°C	60°C	70°C	50°C	60°C	60°C	60°C	70°C	50°C	60°C	70°C
0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
5	0,96	0,95	0,93	0,96	0,95	0,95	0,94	0,94	0,96	0,95	0,94
10	0,92	0,90	0,87	0,91	0,90	0,89	0,88	0,88	0,92	0,90	0,88
15	0,88	0,84	0,80	0,88	0,85	0,85	0,82	0,83	0,88	0,84	0,82
20	0,85	0,80	0,74	0,84	0,80	0,79	0,78	0,77	0,84	0,80	0,77
25	0,81	0,75	0,69	0,80	0,76	0,74	0,73	0,72	0,81	0,76	0,72
30	0,78	0,70	0,63	0,77	0,71	0,69	0,69	0,67	0,77	0,71	0,68
40	0,71	0,63	0,54	0,71	0,62	0,60	0,61	0,58	0,70	0,64	0,59
50	0,66	0,55	0,46	0,64	0,54	0,53	0,53	0,49	0,64	0,57	0,52
60	0,60	0,49	0,38	0,58	0,48	0,46	0,47	0,43	0,58	0,50	0,45
70	0,55	0,43	0,32	0,54	0,43	0,40	0,41	0,37	0,53	0,45	0,39
80	0,50	0,38	0,26	0,49	0,38	0,35	0,35	0,31	0,48	0,40	0,33
90	0,45	0,33	0,21	0,44	0,33	0,29	0,30	0,26	0,43	0,32	0,28
100	0,41	0,28	0,17	0,40	0,29	0,25	0,27	0,21	0,39	0,30	0,24
120	0,34	0,20	0,09	0,32	0,21	0,17	0,19	0,13	0,32	0,23	0,16
140	0,27	0,14	0,04	0,26	0,15	0,12	0,13	0,07	0,25	0,16	0,10
160	0,21	0,09	0,02	0,20	0,09	0,07	0,08	0,04	0,20	0,11	0,06
180	0,17	0,05	0,00	0,15	0,06	0,04	0,05	0,02	0,15	0,07	0,03
200	0,12	0,03	0,00	0,11	0,03	0,02	0,03	0,01	0,11	0,04	0,01
220	0,09	0,01	0,00	0,07	0,02	0,01	0,01	0,00	0,07	0,03	0,00
240	0,06	0,01		0,05	0,01	0,00	0,01	0,00	0,05	0,02	0,00
260	0,04	0,00		0,03	0,00	0,00	0,00		0,03	0,01	0,00
280	0,02	0,00		0,02	0,00				0,02	0,01	0,00
300	0,01			0,01					0,01	0,00	
320	0,00			0,00					0,00		
340	0,00			0,00					0,00		

EM 1 – Estádio de maturação 1; EM 2 – Estádio de maturação 2; EM 3 – Estádio de maturação 3.

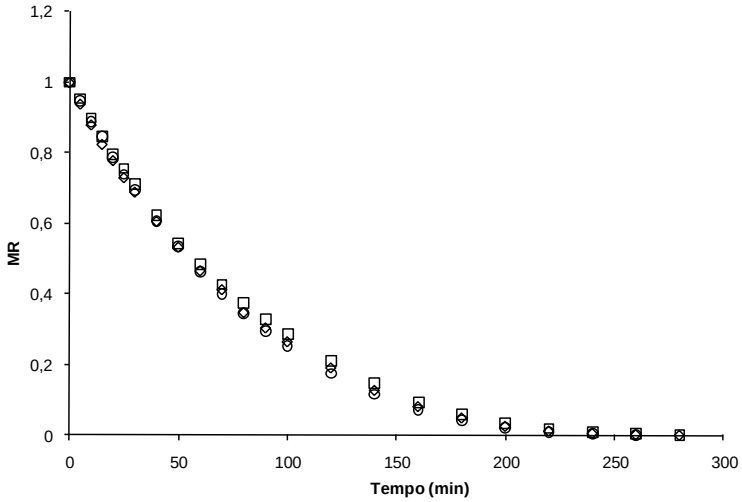


Figura 18. Curvas de secagem obtidas em triplicata para a banana no estádio de maturação 2 a 60°C.

4.4.1 Efeito da temperatura sobre a secagem da banana

A influência da temperatura de secagem das bananas nos três estádios de maturação estudados foi analisada de acordo com as curvas de secagem da relação de umidade (MR) em função do tempo de secagem, as quais são apresentadas nas Figuras 19 a 21. O aumento da temperatura de secagem provocou o aumento da velocidade de secagem em camada delgada da banana Nanicão, em todos os estádios de maturação, e a redução do tempo de secagem, o qual chegou a ser reduzido em 35% para a banana no estádio de maturação 1 (Tabela 24). O comportamento das curvas descrevem os efeitos observados através do planejamento experimental.

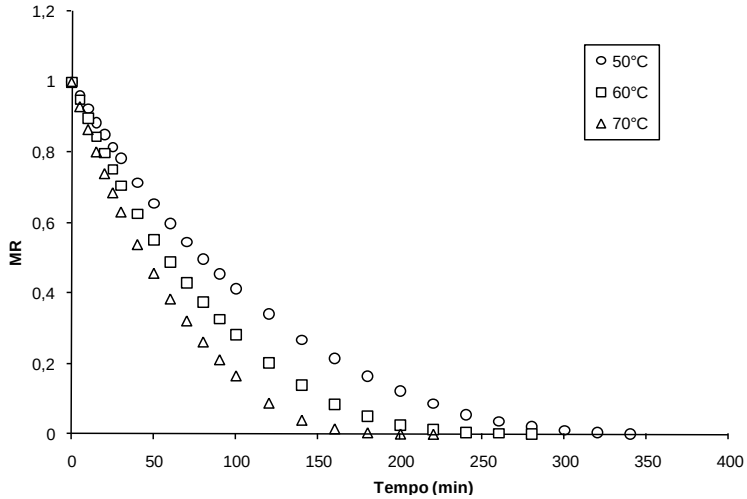


Figura 19. Curvas de secagem para a banana Nanicão no estádio de maturação 1.

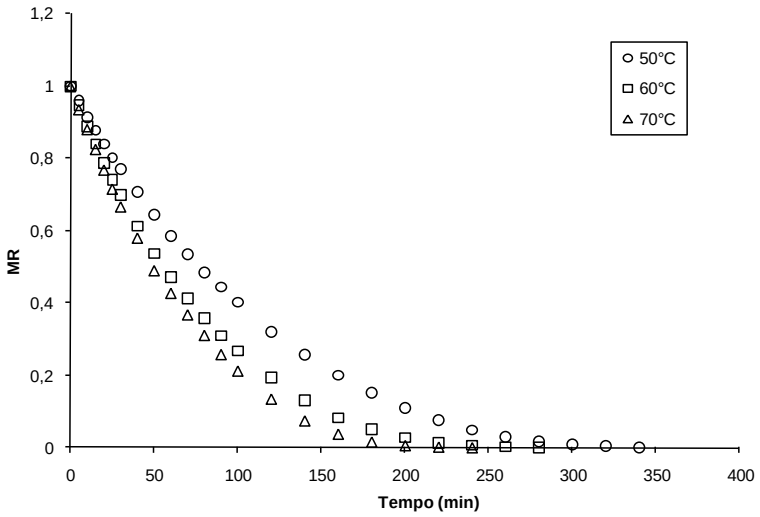


Figura 20. Curvas de secagem para a banana Nanicão no estádio de maturação 2.

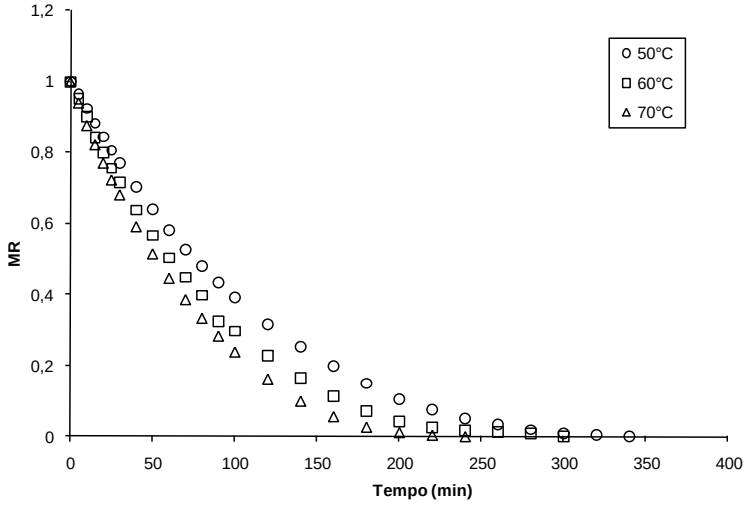


Figura 21. Curvas de secagem para a banana Nanicão no estádio de maturação 3.

Nguyen e Price (2007) avaliaram a influência de vários fatores na secagem de bananas verdes e maduras, em rodelas com 1 a 2 cm de espessura, nas temperaturas de 30, 40, 50, 60 e 70°C e velocidade do ar de secagem de 1 m/s. Os autores observaram também que o aumento da temperatura provocou uma melhora significativa da taxa de perda de massa, especialmente a taxa inicial, e uma redução significativa no tempo total de secagem. Em relação a secagem a 70°C, os autores observaram aumento no tempo de secagem, de duas vezes para a secagem a 60°C, três vezes para a secagem a 50°C, quatro vezes para a secagem a 40°C e 10 vezes para a secagem a 30°C.

4.4.2 Influência do estádio de maturação da banana sobre a secagem

A influência do estádio de maturação da banana sobre as temperaturas estudadas pode ser observada através das curvas de secagem apresentadas nas Figuras 22 a 24. Diferente do que foi observado para o efeito da temperatura, o estádio de maturação das bananas não interferiu na velocidade de secagem e sobre o tempo total de secagem, conforme foi observado através do planejamento experimental. Destaca-se o comportamento observado na Figura 24, para a secagem realizada a 70°C. Nesta condição, a banana no estádio de maturação 1 apresentou maiores taxas de secagem, em tempos intermediários (afastamento da curva). Este comportamento pode ser atribuído ao menor teor de sólidos solúveis na banana, pois os sólidos solúveis apresentam maior afinidade pela água.

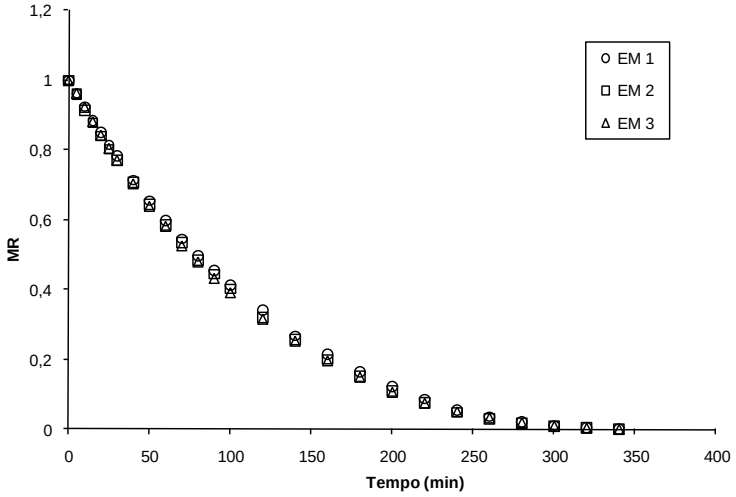


Figura 22. Curvas de secagem para a banana Nanicão a 50°C.

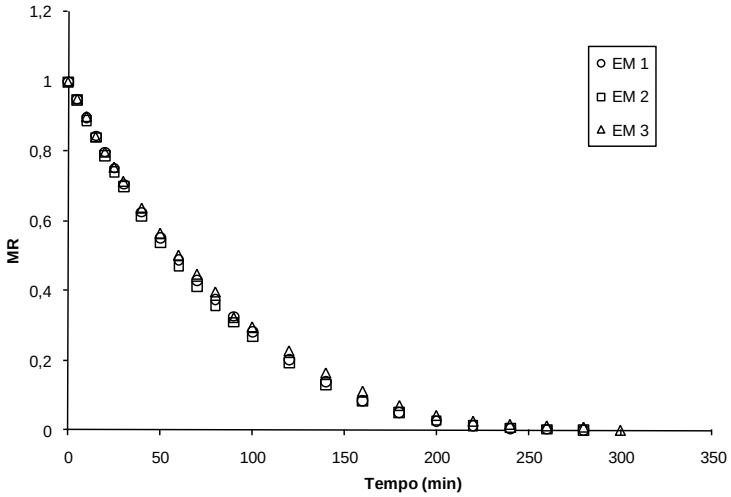


Figura 23. Curvas de secagem para a banana Nanicão a 60°C.

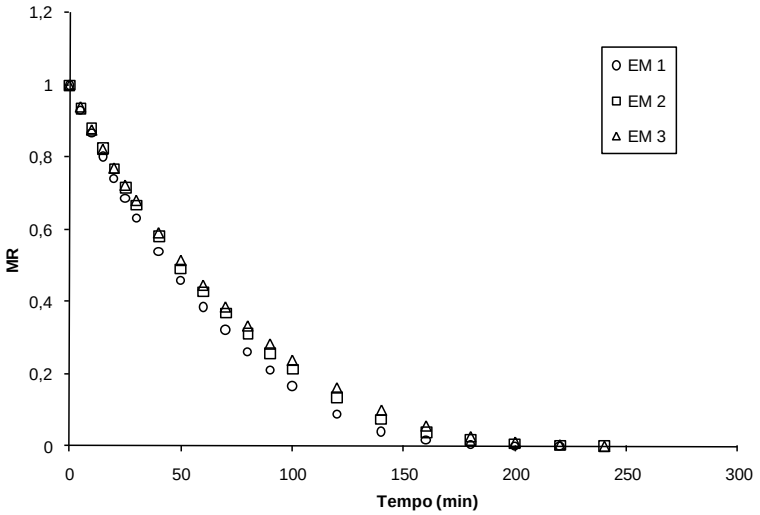


Figura 24. Curvas de secagem para a banana Nanicão a 70°C.

Estudos de secagem de banana, em diferentes estádios de maturação, evidenciaram que o aumento da concentração de sólidos solúveis provocou uma diminuição na taxa de secagem, o qual foi atribuído a alterações na estrutura celular, a permeabilidade da membrana e a composição química (açúcar, amido e água) (WILLS; LIM; GREENFIELD, 1984; PRABHA; BHAGYALAKSHIMI, 1998; NGUYEN; PRICE, 2007).

4.4.3 Modelagem da secagem

A eficiência dos modelos na predição das curvas de secagem em camada delgada da banana Nanicão, nos diferentes estádios de maturação (2-9°Brix) e temperaturas de secagem (50-70°C), foi avaliada com base nos valores do coeficiente de determinação (R^2) e do qui-quadrado (χ^2), os quais são apresentados na Tabela 25, juntamente com os valores das constantes dos modelos.

O coeficiente de determinação (R^2) foi superior a 0,99, para os ajustes de todos os modelos, o que indica que todos se ajustaram bem os dados de secagem, e poderiam ser utilizados para descrever com muito boa precisão as cinéticas de secagem da banana Nanicão em camada delgada. Porém, avaliando adicionalmente o valor do qui-quadrado (χ^2), pode-se afirmar que os modelos de Page, Page modificado, Logarítmico, Midilli, Aproximação da difusão, Dois termos e Verma foram os que melhor se ajustaram aos dados de secagem, para todas as condições estudadas.

A correlação entre valores observados e preditos pelos modelos (Figuras 25 a 31) comprova os excelentes ajustes dos modelos de Page, Page modificado, Logarítmico, Midilli, Aproximação da difusão, Dois termos e Verma. Por oferecerem bons ajustes, e apresentarem apenas dois parâmetros, o que facilita a solução matemática por regressão linear, os modelos de Page e Page modificado são os mais indicados na predição da cinética de secagem em camada delgada da banana Nanicão nas condições estudadas.

Os dados experimentais e as curvas de secagem preditas pelos modelos de Page, Page modificado e Midilli, apresentados nas Figuras 32 e 34, confirmam a eficiência dos modelos de Page e Page modificado, quando comparado com o modelo de Midilli, que por apresentar quatro parâmetros, se ajusta melhor aos dados experimentais.

Silva et al. (2009) obtiveram bons ajustes do modelo de Page para a cinética de secagem em camada delgada da banana maçã, em secador de leito fixo. Os autores utilizaram condições de velocidade do ar e da temperatura de secagem, semelhantes às utilizadas neste estudo, porém variaram a espessura das rodelas de banana (5 a 10 mm). Afonso Júnior e Corrêa (1999) e Doymaz (2007) obsevaram também que o modelo de Page foi o que melhor se ajustou aos dados de secagem em camada delgada de feijão e abóbora, respectivamente. De acordo com Bruce (1985), o modelo de Page descreve muito bem o processo de secagem em camada delgada de produtos agrícolas.

Tabela 25. Parâmetros dos modelos obtidos a partir dos ajustes aos dados experimentais de secagem.

Modelo	EM	T (°C)	a	b	c	k	k_o	k_1	n	g	r^2	χ^2
		50	–	–	–	0,0094	–	–	–	–	0,9920	0,0010
	1	60	–	–	–	0,0128	–	–	–	–	0,9929	0,0009
		70	–	–	–	0,0167	–	–	–	–	0,9922	0,0009
		50	–	–	–	0,0097	–	–	–	–	0,9925	0,0009
Newton	2	60	–	–	–	0,0133	–	–	–	–	0,9945	0,0007
		70	–	–	–	0,0149	–	–	–	–	0,9922	0,0009
		50	–	–	–	0,0098	–	–	–	–	0,9932	0,0008
	3	60	–	–	–	0,0122	–	–	–	–	0,9949	0,0006
		70	–	–	–	0,0141	–	–	–	–	0,9944	0,0007
		50	–	–	–	0,0045	–	–	1,16	–	0,9978	0,0003
	1	60	–	–	–	0,0066	–	–	1,15	–	0,9979	0,0003
		70	–	–	–	0,0089	–	–	1,15	–	0,9977	0,0003
		50	–	–	–	0,0049	–	–	1,15	–	0,9976	0,0003
Page	2	60	–	–	–	0,0074	–	–	1,13	–	0,9985	0,0002
		70	–	–	–	0,0077	–	–	1,16	–	0,9979	0,0003
		50	–	–	–	0,0049	–	–	1,15	–	0,9984	0,0003
	3	60	–	–	–	0,0071	–	–	1,12	–	0,9984	0,0002
		70	–	–	–	0,0081	–	–	1,13	–	0,9981	0,0003
		50	–	–	–	0,0094	–	–	1,16	–	0,9978	0,0003
	1	60	–	–	–	0,0128	–	–	1,15	–	0,9979	0,0003
		70	–	–	–	0,0167	–	–	1,15	–	0,9977	0,0003
		50	–	–	–	0,0097	–	–	1,15	–	0,9976	0,0003
Page Modificado	2	60	–	–	–	0,0132	–	–	1,13	–	0,9985	0,0002
		70	–	–	–	0,0150	–	–	1,16	–	0,9979	0,0003
		50	–	–	–	0,0098	–	–	1,15	–	0,9984	0,0003
	3	60	–	–	–	0,0122	–	–	1,12	–	0,9984	0,0002
		70	–	–	–	0,0141	–	–	1,13	–	0,9981	0,0002

Tabela 25. Parâmetros dos modelos obtidos a partir dos ajustes aos dados experimentais de secagem (*Continuação*).

Modelo	EM	T (°C)	a	b	c	k	k_o	k_1	n	g	r^2	χ^2
		50	1,03	–	–	0,0097	–	–	–	–	0,9937	0,0008
	1	60	1,03	–	–	0,0133	–	–	–	–	0,9944	0,0007
		70	1,03	–	–	0,0174	–	–	–	–	0,9938	0,0008
		50	1,03	–	–	0,0100	–	–	–	–	0,9938	0,0008
Handerson e Pabis	2	60	1,03	–	–	0,0137	–	–	–	–	0,9957	0,0005
		70	1,03	–	–	0,0149	–	–	–	–	0,9939	0,0008
		50	1,03	–	–	0,0102	–	–	–	–	0,9949	0,0007
	3	60	1,03	–	–	0,0126	–	–	–	–	0,9949	0,0005
		70	1,03	–	–	0,0146	–	–	–	–	0,9953	0,0006
		50	1,10	–	-0,0995	0,0078	–	–	–	–	0,9994	0,0001
	1	60	1,08	–	-0,0733	0,0112	–	–	–	–	0,9989	0,0001
		70	1,08	–	-0,0725	0,0147	–	–	–	–	0,9984	0,0002
		50	1,10	–	-0,0925	0,0081	–	–	–	–	0,9993	0,0001
Logarítmico	2	60	1,07	–	-0,0612	0,0118	–	–	–	–	0,9992	0,0001
		70	1,08	–	-0,0759	0,0131	–	–	–	–	0,9986	0,0001
		50	1,09	–	-0,0818	0,0084	–	–	–	–	0,9995	0,0001
	3	60	1,07	–	-0,0573	0,0110	–	–	–	–	0,9990	0,0001
		70	1,07	–	-0,0554	0,0127	–	–	–	–	0,9987	0,0001
		50	0,9919	-0,0001	–	0,0054	–	–	1,09	–	0,9996	0,0001
	1	60	0,9892	-0,0001	–	0,0071	–	–	1,11	–	0,9993	0,0001
		70	0,9884	-0,0001	–	0,0093	–	–	1,13	–	0,9990	0,0001
		50	0,9980	-0,0001	–	0,0056	–	–	1,09	–	0,9995	0,0001
Midilli	2	60	0,9911	-0,0001	–	0,0080	–	–	1,10	–	0,9995	0,0001
		70	0,9885	-0,0001	–	0,0080	–	–	1,13	–	0,9992	0,0001
		50	0,9944	-0,0001	–	0,0058	–	–	1,09	–	0,9997	0,0001
	3	60	0,9905	-0,0001	–	0,0071	–	–	1,10	–	0,9993	0,0001
		70	0,9857	-0,0001	–	0,0080	–	–	1,12	–	0,9991	0,0001

Tabela 25. Parâmetros dos modelos obtidos a partir dos ajustes aos dados experimentais de secagem (*Continuação*).

Modelo	EM	T (°C)	a	b	c	k	k_o	k_1	n	g	r^2	χ^2
		50	2,84	-1,83	–	–	0,0057	0,0044	–	–	0,9997	0,0001
	1	60	2,61	-1,60	–	–	0,0084	0,0064	–	–	0,9994	0,0001
		70	3,08	-2,08	–	–	0,0108	0,0086	–	–	0,9991	0,0001
		50	2,75	-1,75	–	–	0,0061	0,0045	–	–	0,9996	0,0001
Dois termos	2	60	2,56	-1,55	–	–	0,0090	0,0069	–	–	0,9991	0,0001
		70	2,81	-1,80	–	–	0,0097	0,0075	–	–	0,9997	0,0001
		50	2,87	-1,86	–	–	0,0063	0,0049	–	–	0,9994	0,0001
	3	60	2,59	-1,58	–	–	0,0084	0,0065	–	–	0,9993	0,0001
		70	3,02	-2,02	–	–	0,0094	0,0077	–	–	0,9993	0,0001
		50	-7,44	0,9329	–	0,0159	–	–	–	–	0,9983	0,0002
	1	60	-6,72	0,9284	–	0,0215	–	–	–	–	0,9984	0,0001
		70	-8,96	0,9444	–	0,0279	–	–	–	–	0,9980	0,0002
		50	-9,44	0,9477	–	0,0161	–	–	–	–	0,9981	0,0002
Aproximação da difusão	2	60	-5,85	0,9231	–	0,0218	–	–	–	–	0,9989	0,0002
		70	-7,81	0,9360	–	0,0253	–	–	–	–	0,9983	0,0002
		50	-7,89	0,9377	–	0,0164	–	–	–	–	0,9988	0,0002
	3	60	-6,03	0,9271	–	0,0199	–	–	–	–	0,9989	0,0001
		70	-6,60	0,9318	–	0,0230	–	–	–	–	0,9986	0,0002
		50	6,88	–	–	0,0053	–	–	–	0,0048	0,9996	0,0001
	1	60	4,53	–	–	0,0078	–	–	–	0,0067	0,9993	0,0001
		70	4,79	–	–	0,0101	–	–	–	0,0088	0,9989	0,0001
		50	3,65	–	–	0,0058	–	–	–	0,0047	0,9996	0,0001
Verma	2	60	4,19	–	–	0,0084	–	–	–	0,0072	0,9995	0,0001
		70	4,59	–	–	0,0090	–	–	–	0,0078	0,9990	0,0001
		50	3,81	–	–	0,0059	–	–	–	0,0049	0,9996	0,0001
	3	60	4,09	–	–	0,0079	–	–	–	0,0068	0,9993	0,0001
		70	4,09	–	–	0,0090	–	–	–	0,0078	0,9992	0,0001

Tabela 25. Parâmetros dos modelos obtidos a partir dos ajustes aos dados experimentais de secagem (*Continuação*).

Modelo	EM	T (°C)	a	b	c	k		n	g	r^2	χ^2
Dois termos exponencial	1	50	0,0018	–	5,02	–	–	–	–	0,9918	0,0010
		60	0,0022	–	5,75	–	–	–	–	0,9927	0,0008
		70	0,0025	–	6,58	–	–	–	–	0,9920	0,0010
	2	50	0,0020	–	4,66	–	–	–	–	0,9923	0,0010
		60	0,0023	–	5,51	–	–	–	–	0,9942	0,0007
		70	0,0024	–	6,15	–	–	–	–	0,9920	0,0010
	3	50	0,0018	–	5,19	–	–	–	–	0,9930	0,0008
		60	0,0022	–	5,37	–	–	–	–	0,9947	0,0007
		70	0,0024	–	5,75	–	–	–	–	0,9935	0,0008

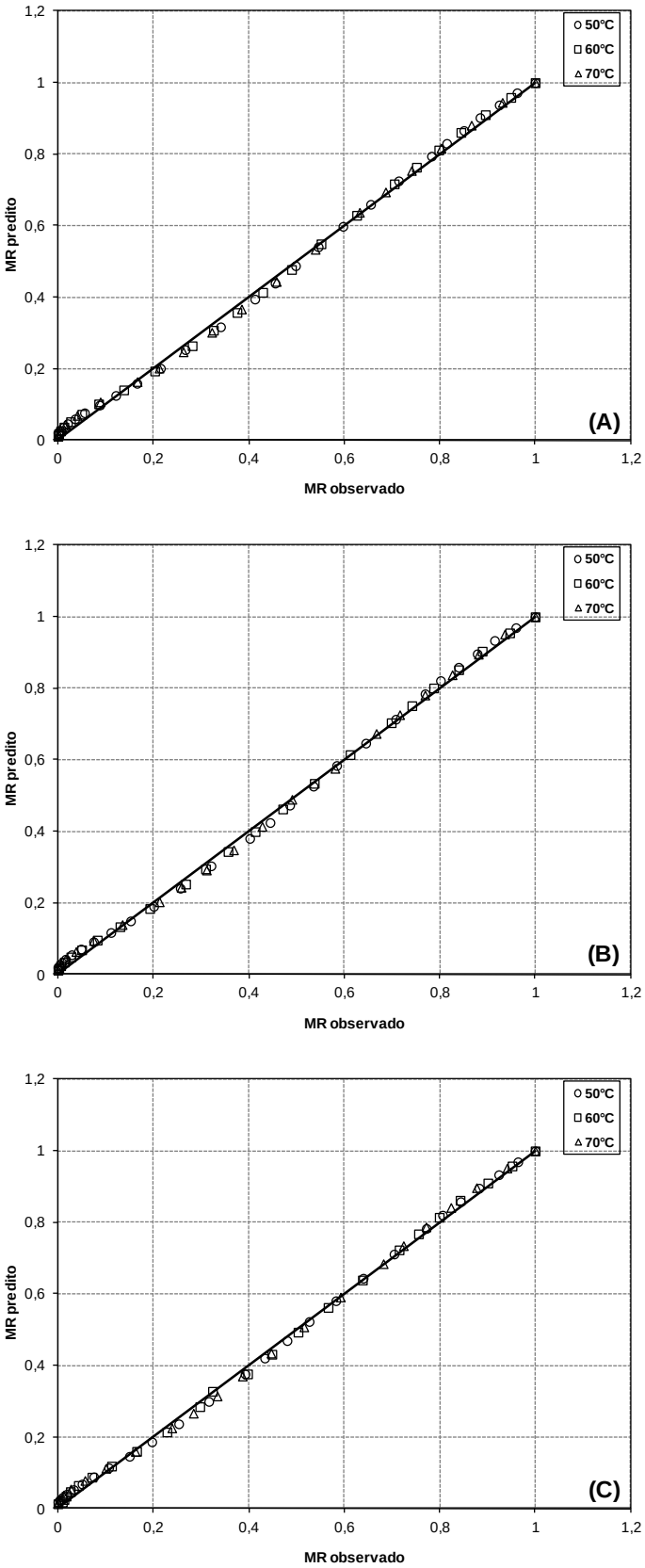


Figura 25. Correlação entre os valores de MR experimentais e preditos pelo modelo de Page: (A) estádio de maturação 1, (B) estádio de maturação 2 e (C) estádio de maturação 3.

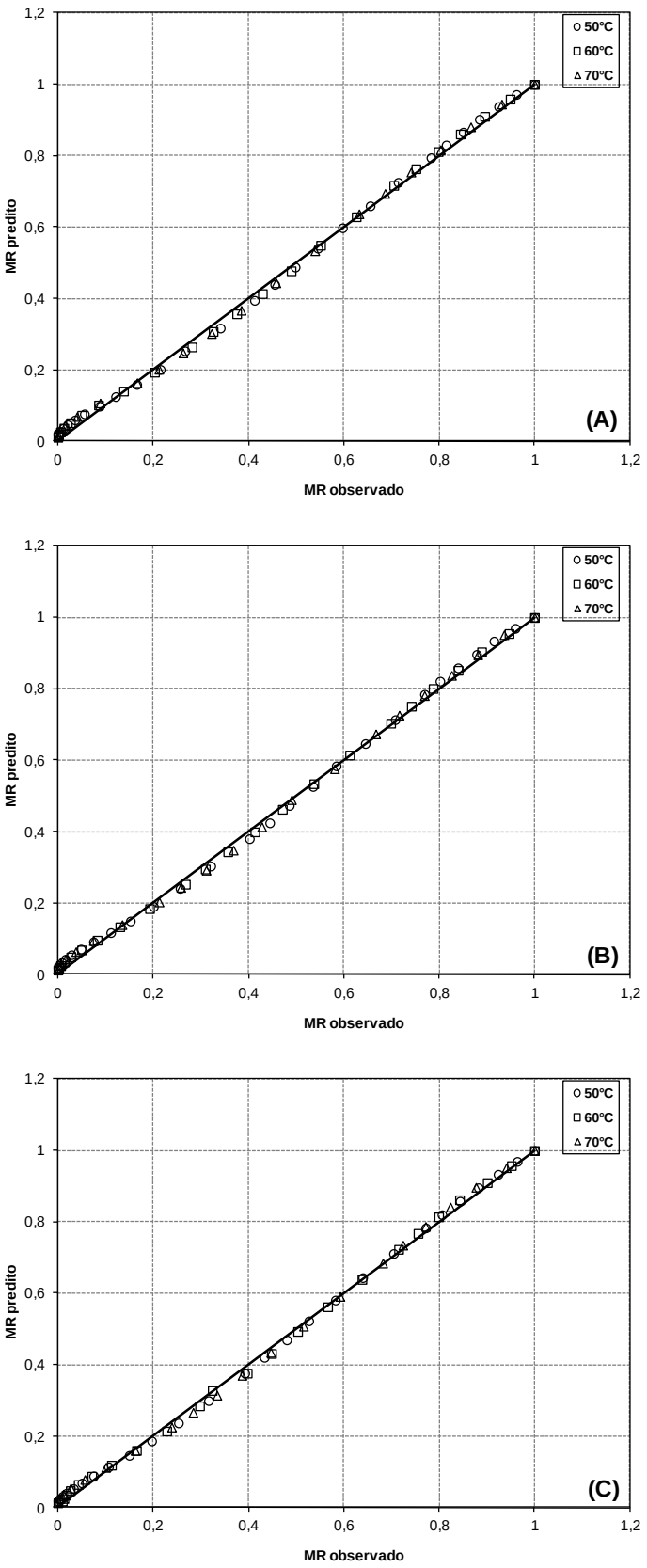


Figura 26. Correlação entre os valores de MR experimentais e preditos pelo modelo de Page modificado: (A) estádio de maturação 1, (B) estádio de maturação 2 e (C) estádio de maturação 3.

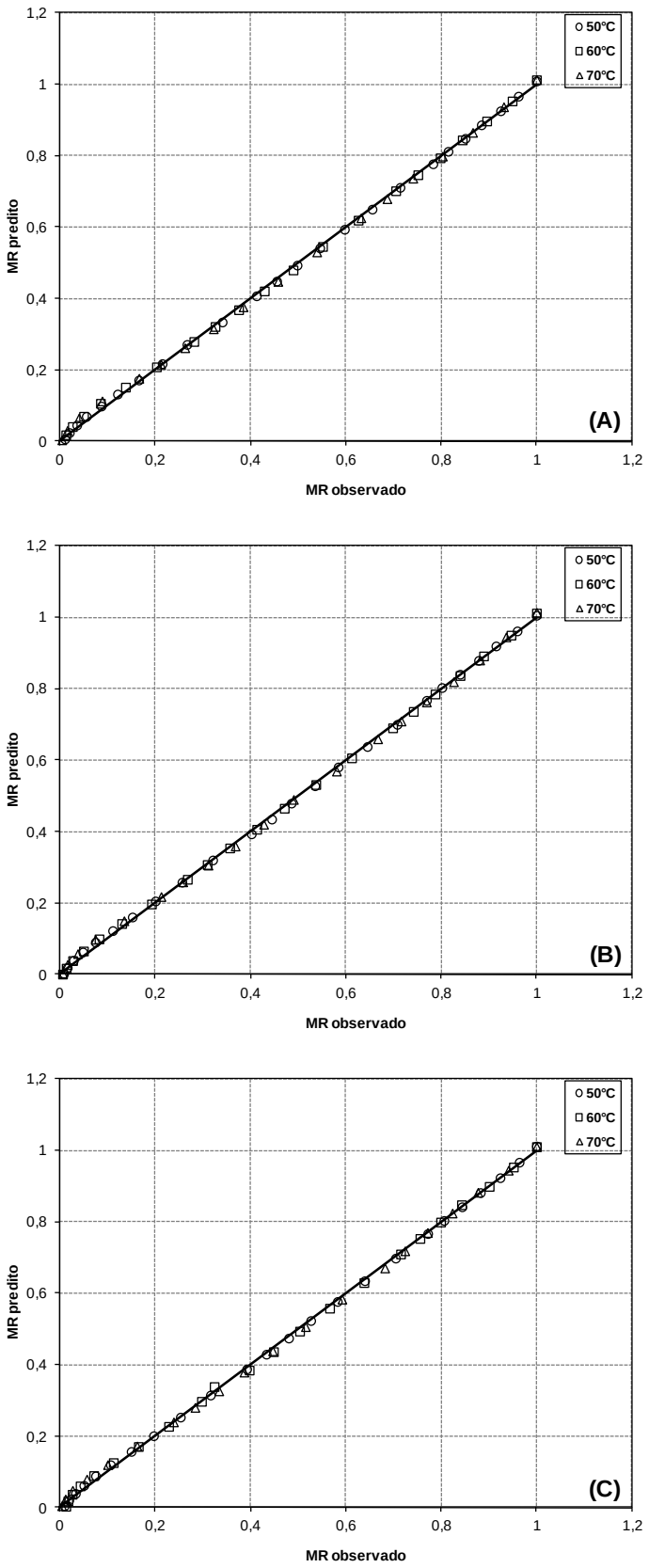


Figura 27. Correlação entre os valores de MR experimentais e preditos pelo modelo de Logarítmico: (A) estádio de maturação 1, (B) estádio de maturação 2 e (C) estádio de maturação 3.

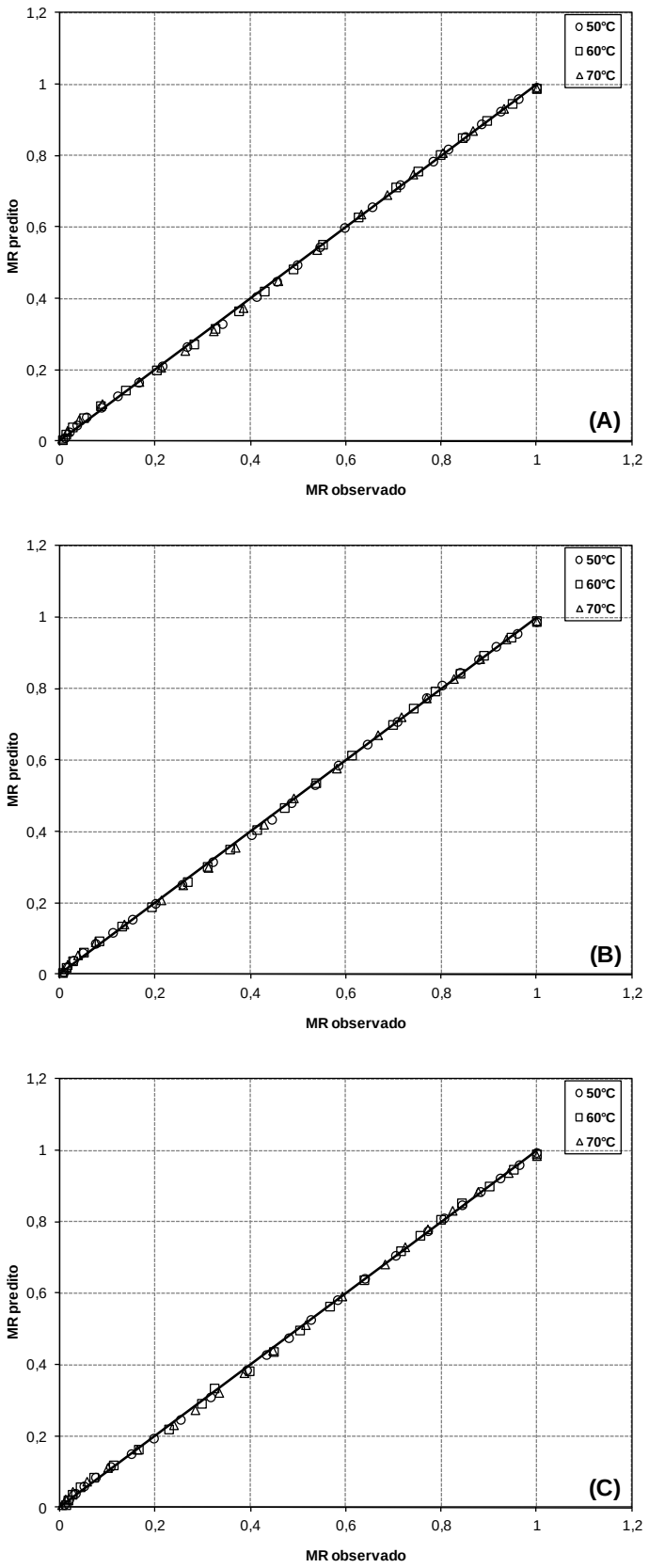


Figura 28. Correlação entre os valores de MR experimentais e preditos pelo modelo de Midilli: (A) estádio de maturação 1, (B) estádio de maturação 2 e (C) estádio de maturação 3.

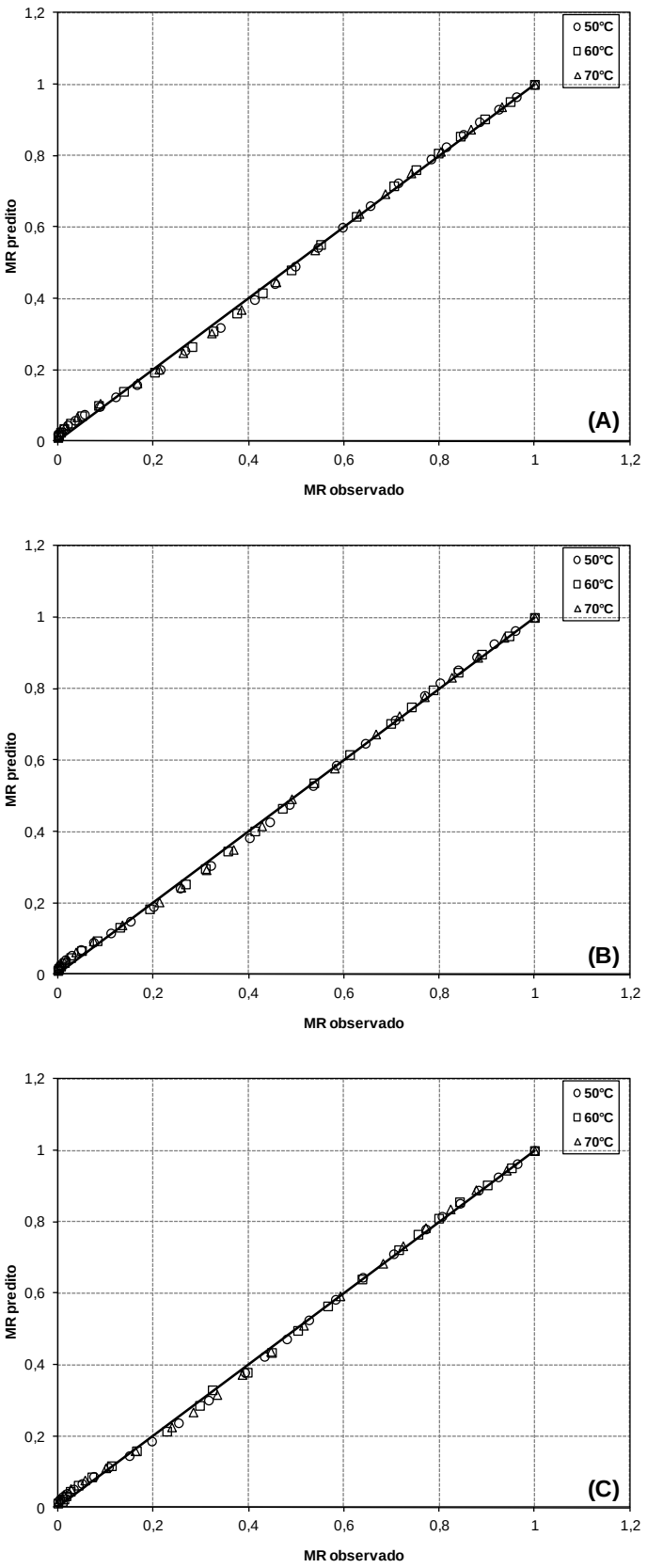


Figura 29. Correlação entre os valores de MR experimentais e preditos pelo modelo de Aproximação da difusão: (A) estádio de maturação 1, (B) estádio de maturação 2 e (C) estádio de maturação 3.

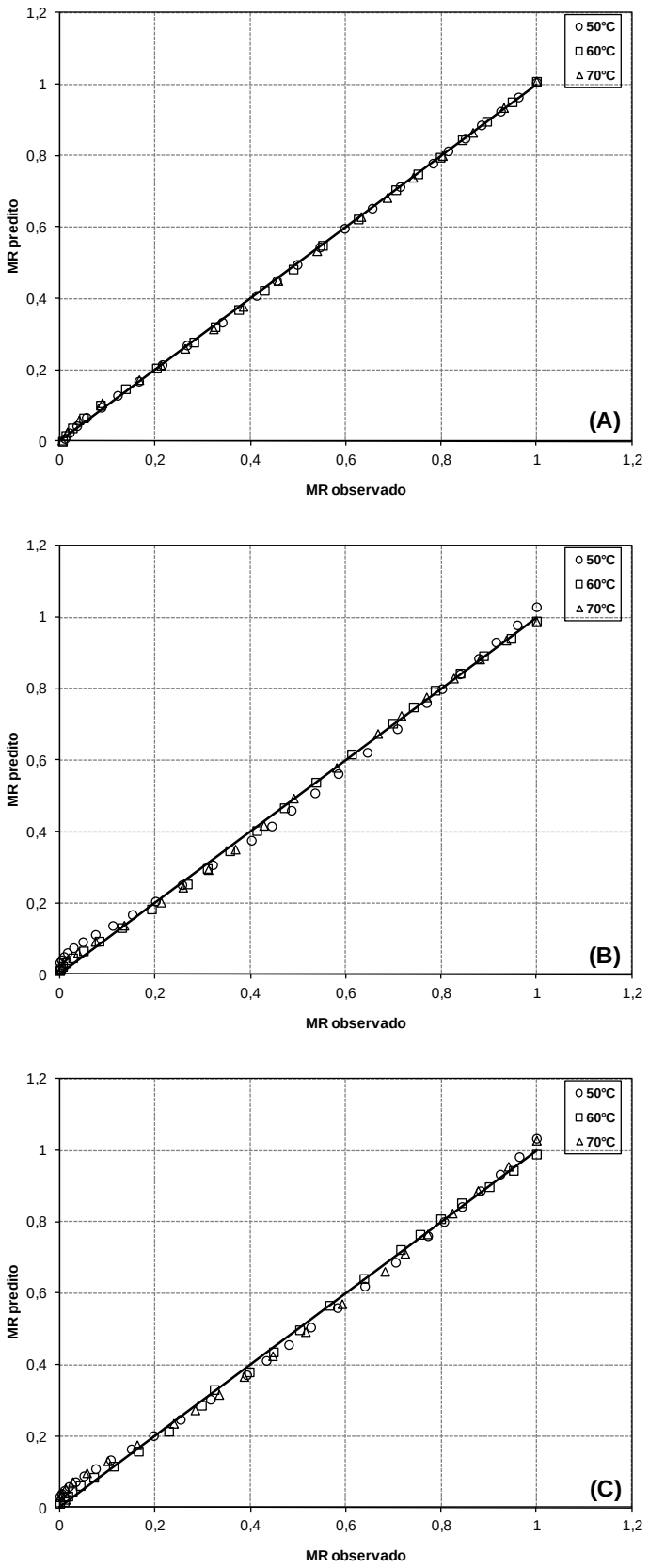


Figura 30. Correlação entre os valores de MR experimentais e preditos pelo modelo de Dois Termos: (A) estádio de maturação 1, (B) estádio de maturação 2 e (C) estádio de maturação 3.

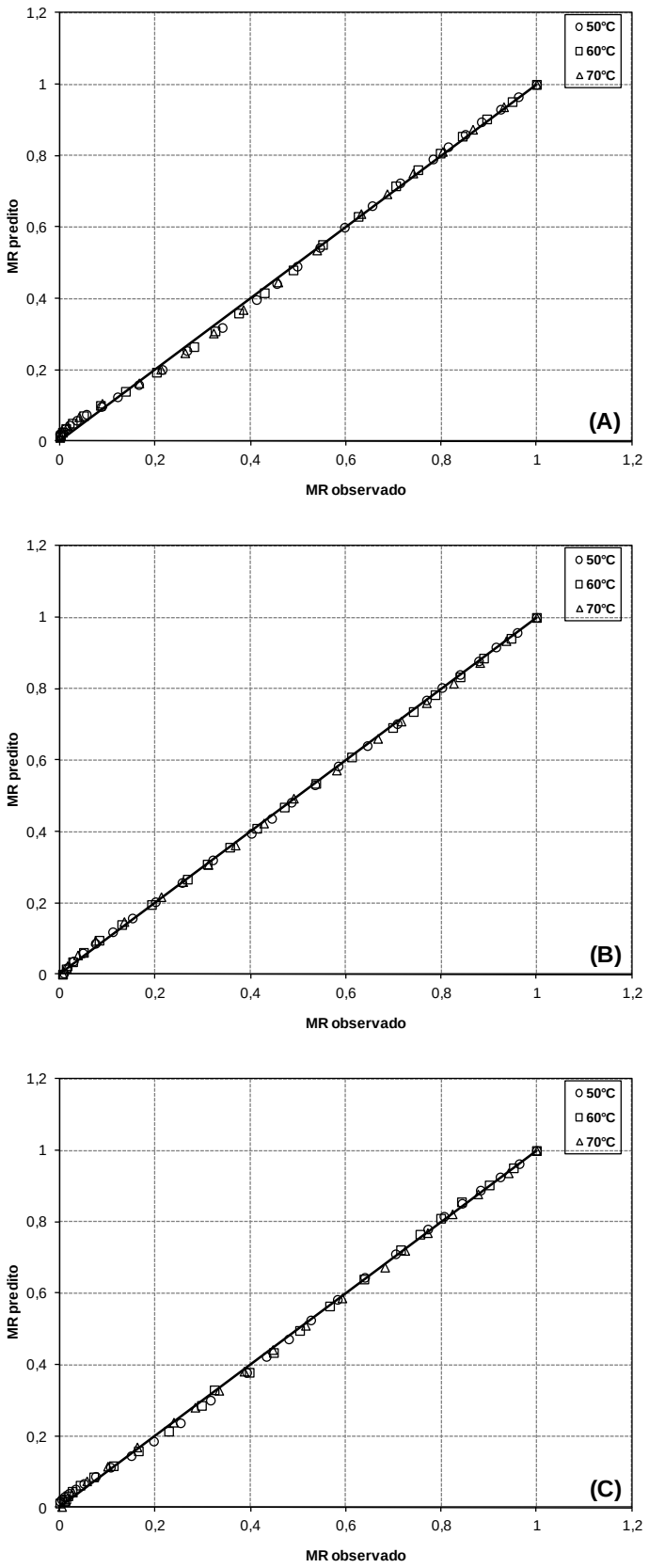


Figura 31. Correlação entre os valores de MR experimentais e preditos pelo modelo de Verma: (A) estádio de maturação 1, (B) estádio de maturação 2 e (C) estádio de maturação 3.

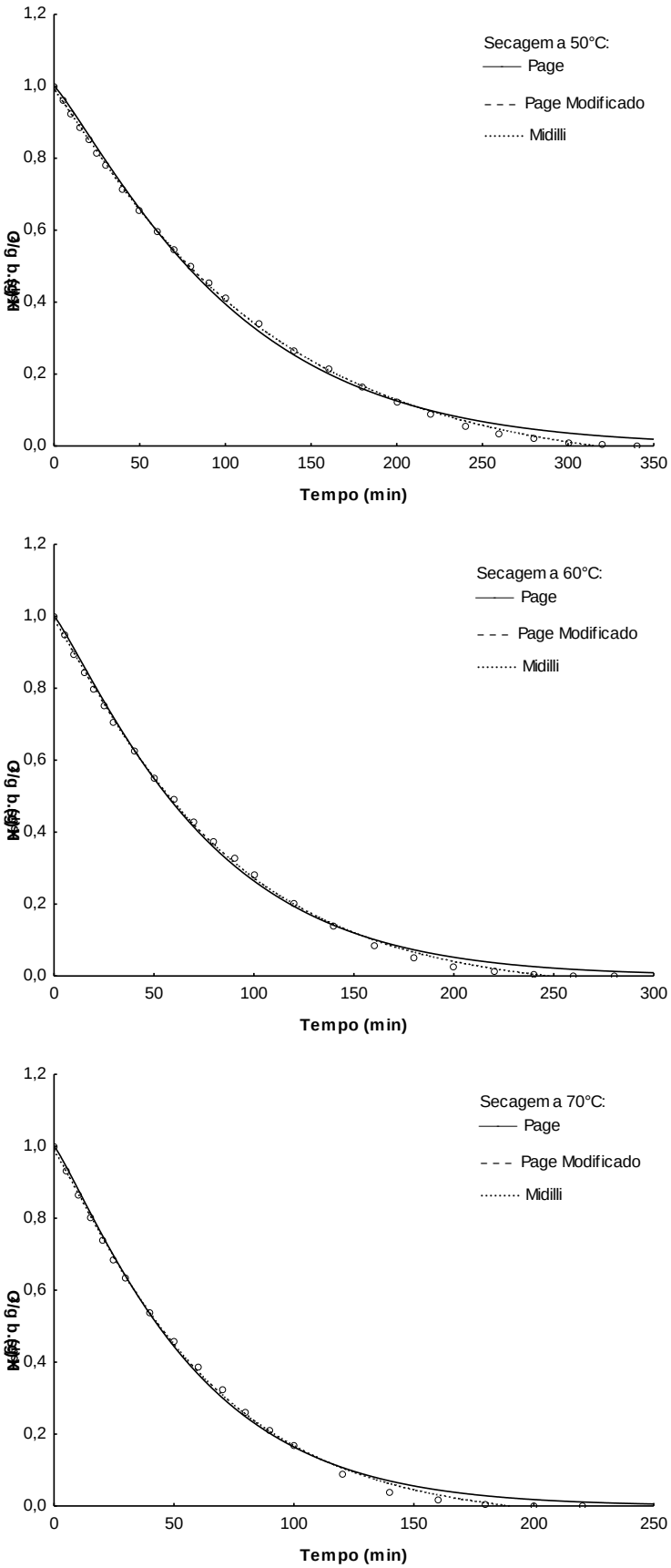


Figura 32. Curvas de secagem da banana Nanicão no estádio de maturação 1, experimentais e preditas pelos modelos de Page, Page modificado e Midilli.

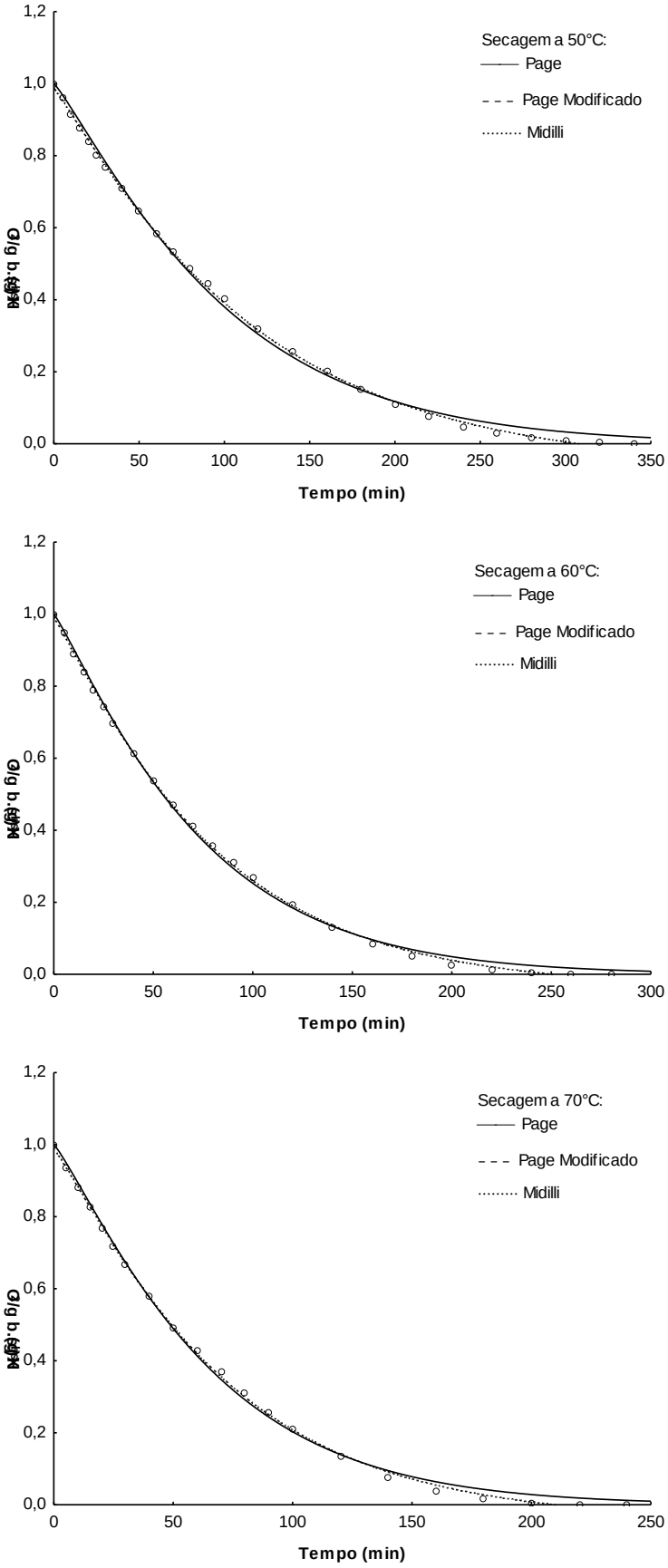


Figura 33. Curvas de secagem da banana Nanicão no estádio de maturação 2, experimentais e preditas pelos modelos de Page, Page modificado e Midilli.

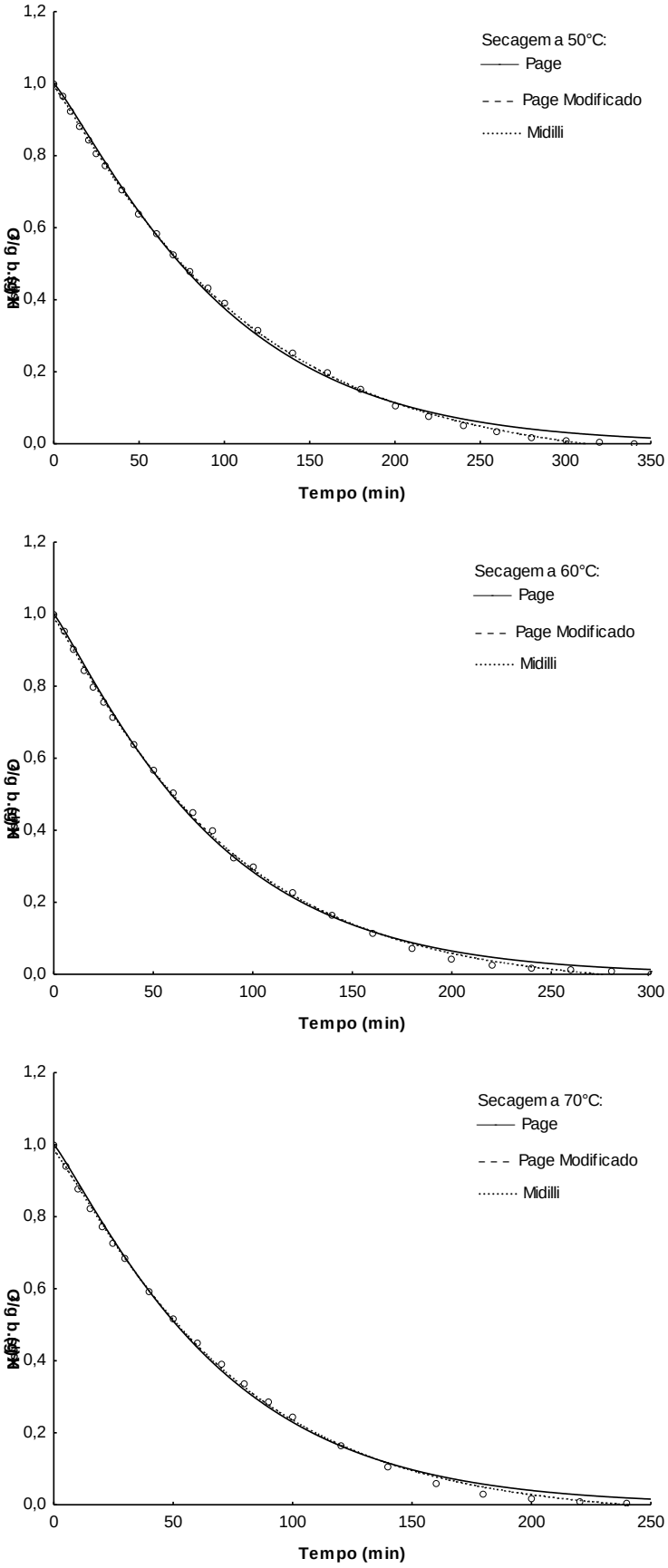


Figura 34. Curvas de secagem da banana Nanicão no estádio de maturação 3, experimentais e preditas pelos modelos de Page, Page modificado e Midilli.

4.5 AVALIAÇÃO HIGROSCÓPICA DAS FARINHAS

4.5.1 Isotermas de sorção de umidade das farinhas de banana

Os dados de adsorção e dessorção de umidade das farinhas de banana Nanicão, nos três estádios de maturação, são apresentados na Tabela 26 e as respectivas isotermas de sorção estão representadas nas Figuras 35 e 36. As farinhas apresentaram 9,85, 9,64 e 8,73% de umidade, para os estádios de maturação 1, 2 e 3, respectivamente, e os constituintes majoritários das mesmas foram amido e açúcares totais (redutores + não redutores), nos teores de 70,07 e 2,88%, para o estádio de maturação 1; 63,89 e 5,99%, para o estádio de maturação 2; 52,65 e 10,0%, para o estádio de maturação 3.

Todas as isotermas apresentaram comportamento de isoterma do tipo II, de acordo com a classificação da IUPAC (1985). Segundo Salwin (1963), produtos ricos em proteína e/ou amido, como é o caso dos produtos deste estudo (> 50% de amido), apresentam esse comportamento. Desta forma, pode-se afirmar que o aumento do teor de açúcares totais, com o estádio de maturação, nos níveis observados (2,88 a 10,0%), não interferiu no comportamento das isotermas.

A adsorção de umidade pelo amido é atribuída principalmente às ligações de hidrogênio das moléculas de água aos grupos hidroxila da amilose e da amilopectina, especialmente nas regiões amorfas (amilose) e na superfície dos cristais (amilopectina) (URQUHART, 1959; SALWIN, 1963). De acordo com Al-Muhtaseb, McMinn e Magee (2004), as regiões cristalinas do amido apresentam resistência à penetração da água, mas a água afeta a estrutura agindo como plastificante das regiões amorfas. Em baixas a_w ($a_w < 0,3$) o efeito de plastificação é muito pequeno e a mobilidade das regiões amorfa é restrita, porém com o aumento da a_w ($a_w > 0,3$), a água adsorvida provoca o inchamento dos grânulos de amido; o grau de cristalinidade diminui e há um aumento crescente da disponibilidade de grupos polares do amido, aumentando a afinidade pelas moléculas de água.

De acordo com o comportamento das isotermas de adsorção (Figura 35), as três farinhas requererão maiores cuidados quando armazenadas em ambientes com umidades relativas superiores a 60%, pois a partir deste valor de umidade ($a_w \approx 0,6$), o comportamento das isotermas tornou-se exponencial e o produto passou a ganhar facilmente umidade, para pequena elevação na umidade relativa do ambiente. As isotermas de adsorção indicam, também, que as farinhas terão estabilidade

microbiológica (a_w<0,6) (SALWIN, 1963; FRANCO; LANDGRAF, 1996; ORDÓÑEZ, 2005), quando apresentarem umidade inferior a 13 g H_2O/100 g b.s.

Tabela 26. Dados de adsorção e dessorção de umidade da farinha de banana Nanicão nos estádios de maturação 1, 2 e 3.

Estádio de maturação 1				**Estádio de maturação 2**				**Estádio de maturação 3**			
Adsorção		**Dessorção**		**Adsorção**		**Dessorção**		**Adsorção**		**Dessorção**	
a_w	**m**	**a_w**	**m**	**a_w**	**m**	**a_w**	**m**	**a_w**	**m**	**a_w**	**m**
0,08	4,69	0,94	44,94	0,08	3,87	0,92	38,73	0,05	4,40	0,91	35,35
0,12	5,31	0,89	29,58	0,14	5,19	0,92	36,36	0,08	5,11	0,88	31,79
0,15	6,07	0,86	27,19	0,16	5,72	0,90	33,53	0,10	5,80	0,86	29,06
0,18	6,49	0,83	23,37	0,19	6,22	0,87	30,29	0,14	6,51	0,83	24,89
0,25	7,53	0,78	21,17	0,21	6,71	0,85	26,06	0,17	7,05	0,80	23,07
0,30	8,30	0,75	20,07	0,27	7,47	0,83	24,17	0,19	7,38	0,77	21,37
0,35	8,84	0,72	19,23	0,31	8,14	0,80	22,60	0,23	7,86	0,74	20,37
0,39	9,38	0,69	18,36	0,35	9,08	0,78	21,14	0,26	8,25	0,68	18,43
0,43	9,79	0,66	17,19	0,39	9,43	0,74	19,52	0,29	8,58	0,63	17,00
0,49	10,88	0,64	16,54	0,42	9,92	0,71	18,87	0,33	8,91	0,57	15,69
0,53	11,99	0,59	15,11	0,47	10,72	0,67	17,94	0,37	9,27	0,53	14,77
0,58	13,11	0,56	14,48	0,52	11,96	0,64	16,92	0,40	9,76	0,49	13,90
0,63	14,36	0,52	13,79	0,56	12,87	0,58	15,64	0,44	10,66	0,45	13,11
0,66	15,05	0,47	12,85	0,61	13,88	0,54	14,86	0,48	11,70	0,40	11,96
0,69	16,21	0,42	11,52	0,64	14,92	0,48	13,50	0,52	12,19	0,35	11,39
0,74	18,79	0,36	10,66	0,68	15,76	0,44	12,53	0,57	13,20	0,30	10,79
0,79	21,17	0,32	9,91	0,74	18,53	0,40	11,61	0,62	14,82	0,27	9,85
0,83	23,15	0,28	9,08	0,78	20,28	0,34	10,70	0,66	15,82	0,23	8,94
0,87	26,80	0,25	8,27	0,81	22,02	0,29	9,49	0,68	16,48	0,19	8,21
0,90	31,12	0,17	6,87	0,84	24,58	0,26	8,31	0,73	18,18	0,17	7,32
0,94	44,94	0,10	5,36	0,86	26,48	0,20	6,59	0,76	19,83	0,12	6,11
				0,92	38,33	0,17	5,64	0,81	23,34	0,10	5,48
						0,12	4,59	0,84	25,51	0,05	4,10
						0,06	2,95	0,88	30,33		
								0,90	33,27		
								0,91	35,50		

a_w – atividade de água; m – umidade (g H_2O/100 g b.s.). Os valores são médias de duas determinações (erros relativos inferiores a 5%).

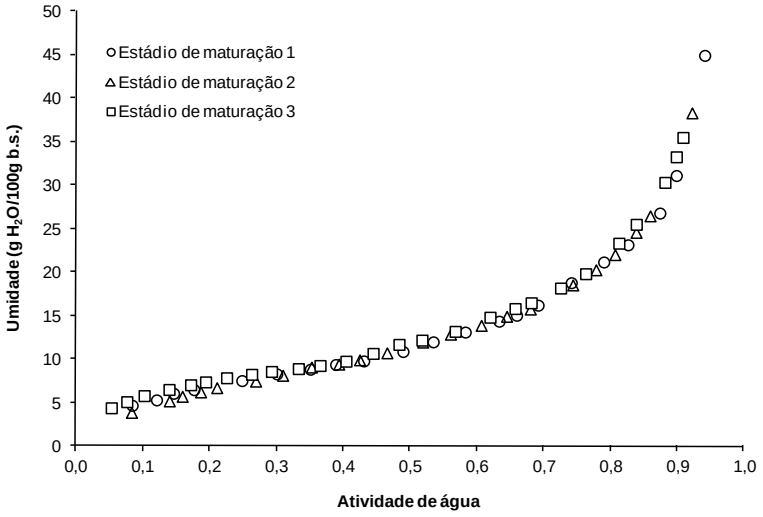


Figura 35. Isotermas de adsorção de umidade das farinhas de banana Nanicão, nos três estádios de maturação.

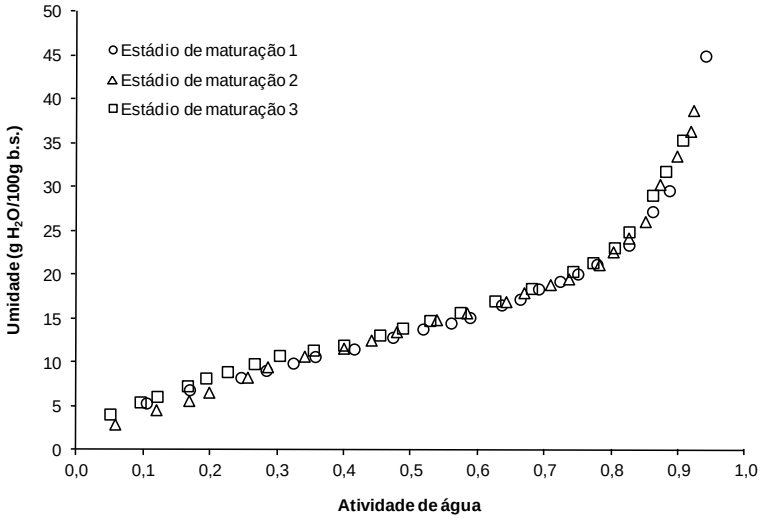


Figura 36. Isotermas de dessorção de umidade das farinhas de banana Nanicão, nos três estádios de maturação.

Na Figura 37 são apresentadas as isotermas de adsorção e dessorção das três farinhas, evidenciando o efeito de histerese. Pode-se observar que o efeito de histerese foi semelhante para as três farinhas; iniciou na região de condensação capilar ($a_w \approx 0,80$) e se prolongou até a região da monocamada ($a_w \approx 0,2$). O comportamento está de acordo com a teoria clássica de Labuza (1968).

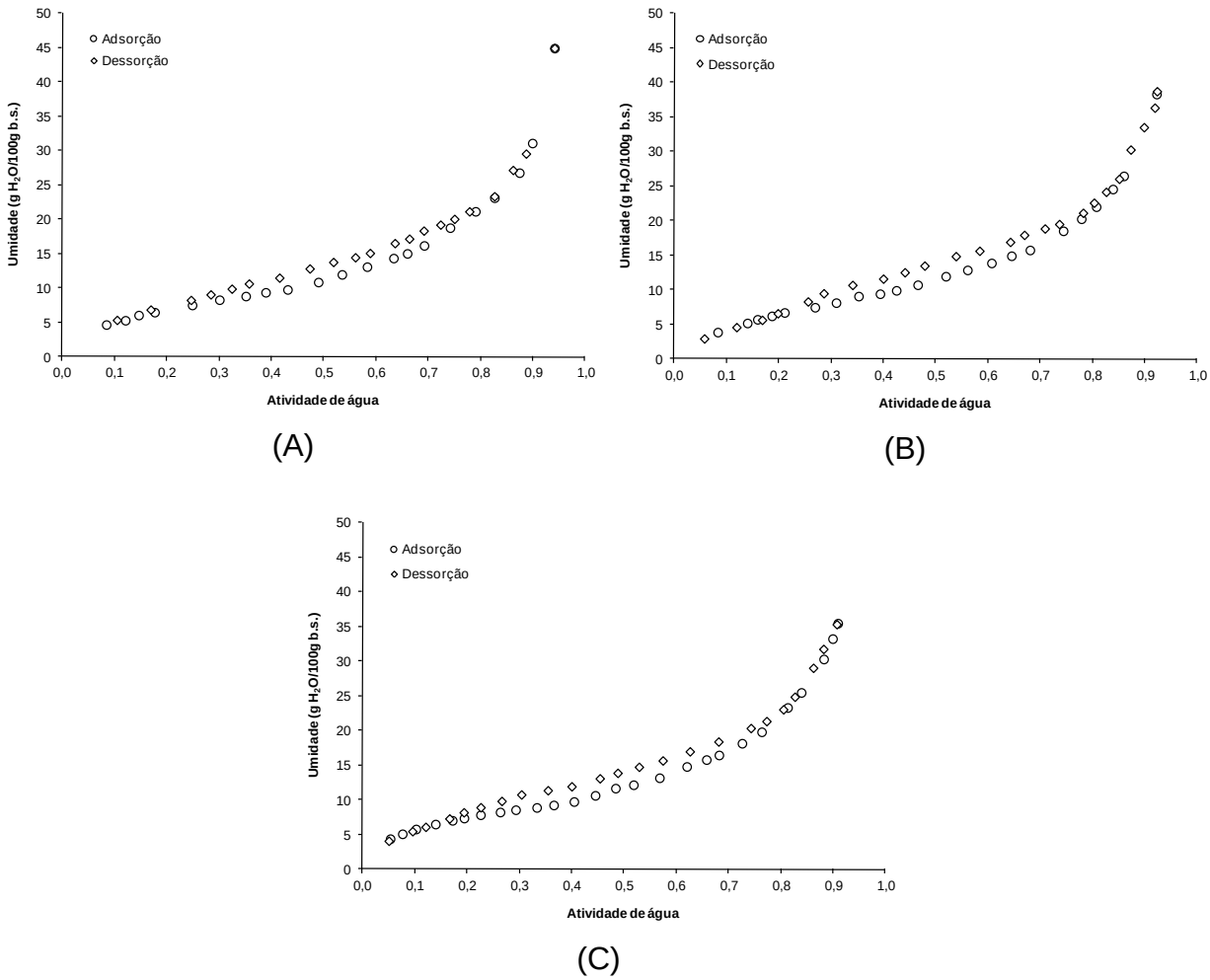


Figura 37. Isotermas de sorção de umidade das farinhas de banana Nanicão, nos estádios de maturação 1 (A), 2 (B) e 3 (C).

Os valores dos parâmetros do ajuste da equação de BET linearizada aos dados de adsorção e dessorção de umidade das farinhas de banana são apresentados na Tabela 27. O valor médio da monocamada (m_o) foi de 6,56 e 7,10 g H_2O/100 g b.s., para a adsorção e a dessorção, respectivamente. Não houve diferença significativa ($p \geq 0,05$) entre os valores de m_o das farinhas de banana, nos diferentes estádios de maturação, para um mesmo processo (adsorção ou dessorção). Com base no valor médio de m_o para a dessorção, não é recomendado que o processo de secagem da banana Nanicão nos diferentes estádios de maturação (2 a 9°Brix) se estenda a níveis de umidade inferiores a 7,10 g H_2O/100 g b.s, pois a redução da umidade abaixo de m_o provoca um aumento exponencial na quantidade de energia envolvida no processo de secagem (DEL VALLE, 1982). Como nesse nível de umidade a a_w das farinhas será inferior 0,3, a estabilidade microbiológica das mesmas estará altamente assegurada.

Tabela 27. Parâmetros do ajuste da equação de BET linearizada aos dados de sorção das farinhas de banana.

Farinha	Adsorção			Dessorção		
	m_o	C	R^2	m_o	C	R^2
Farinha EM1	6,46[a]	21,50[b]	0,9985	7,64[a]	14,38[b]	0,9996
Farinha EM2	6,60[a]	13,53[c]	0,9967	6,66[a]	11,73[c]	0,9993
Farinha EM3	6,63[a]	32,80[a]	0,9988	7,01[a]	23,38[a]	0,9994

EM1 – Estádio de maturação 1; EM2 – Estádio de maturação 2; EM3 – Estádio de maturação 3; m_o – umidade da monocamada (g H_2O/100 g b.s.); C – parâmetro BET; R^2 – coeficientes de determinação. Valores com letras iguais, na mesma coluna, não diferem entre si pelo teste *t* de Student ($p<0,05$).

4.5.2 Predição das isotermas de sorção de umidade das farinhas de banana

Na Tabela 28 são apresentados os valores dos coeficientes de determinação (R^2) e dos desvios médios relativos (P), e os parâmetros dos modelos matemáticos ajustados aos dados de adsorção e dessorção de umidade das farinhas de banana. Com base nas melhores combinações entre o coeficiente de determinação ($R^2>0,97$) e o desvio médio relativo ($P<10\%$), os modelos de Oswin, Smith e GAB foram os que melhor se ajustaram aos dados de sorção das farinhas de banana Nanicão, nos três estádios de maturação (1 a 9°Brix).

O modelo de Oswin foi o único que apresentou valores de $R^2 \geq 0,99$, bem como os menores valores de P, para todos os ajustes. Esse modelo tem ainda a vantagem de apresentar apenas dois parâmetros, sendo de mais fácil solução matemática, por regressão linear. Assim é o modelo mais indicado para ser utilizado na predição das isotermas de adsorção e dessorção de umidade da farinha da banana Nanicão, nos estádios de maturação 1 a 3 (1 a 9°Brix).

A Figura 38 apresenta a correlação entre as umidades experimentais e preditas pelo modelo de Oswin, e as Figuras 39 e 40 apresentam os dados experimentais de sorção, e as isotermas preditas pelos modelos de Oswin, Smith e GAB. Essas correlações confirmam os bons ajustes do modelo de Oswin.

Tabela 28. Parâmetros de ajuste dos modelos matemáticos aos dados de sorção de umidade das farinhas de banana Nanicão, nos três estádios de maturação.

	Isoterma	Modelo	Número de parâmetros	Parâmetros da Equação	R^2	P (%)
EM1	Adsorção	Halsey	2	a = 49,08; b = 1,77	0,9971	3,1
		Handerson	2	a = 0,04; b = 1,14	0,9454	18,2
		Oswin	2	a = 11,33; b = 0,48	0,9916	6,5
		Smith	2	a = 2,80; b = 12,67	0,9677	9,4
		BET	3	m_o = 5,0; c = 1,12x10^6; n = 19,0	0,9632	10,1
		GAB	3	m_o = 5,82; c = 66,49; k = 0,92	0,9896	7,0
	Dessorção	Halsey	2	a = 102,47; b = 1,96	0,9925	5,2
		Handerson	2	a = 0,03; b = 1,28	0,9416	12,2
		Oswin	2	a = 12,82; b = 0,43	0,9901	3,9
		Smith	2	a = 4,17; b = 12,42	0,9682	5,7
		BET	3	m_o = 6,0; c = 1,06x10^6; n = 15,0	0,9317	11,2
		GAB	3	m_o = 6,84; c = 71,18; k = 0,89	0,9770	5,1
EM2	Adsorção	Halsey	2	a = 44,23; b = 1,73	0,9967	4,8
		Handerson	2	a = 0,03; b = 1,25	0,9614	13,1
		Oswin	2	a = 11,44; b = 0,47	0,9967	3,5
		Smith	2	a = 3,05; b = 12,25	0,9824	5,6
		BET	3	m_o = 5,06; c = 293,77; n = 16,72	0,9753	9,4
		GAB	3	m_o = 6,26; c = 24,76; k = 0,92	0,9952	4,0
	Dessorção	Halsey	2	a = 92,42; b = 1,93	0,9842	12,8
		Handerson	2	a = 0,02; b = 1,34	0,9736	9,8
		Oswin	2	a = 12,99; b = 0,43	0,9930	6,7
		Smith	2	a = 4,02; b = 12,56	0,9833	9,5
		BET	3	m_o = 5,93; c = 43,24; n = 13,15	0,9628	12,7
		GAB	3	m_o = 7,71; c = 16,54; k = 0,86	0,9866	8,0
EM3	Adsorção	Halsey	2	a = 56,39; b = 1,79	0,9991	2,4
		Handerson	2	a = 0,02; b = 1,35	0,9574	16,2
		Oswin	2	a = 12,27; b = 0,45	0,9931	7,0
		Smith	2	a = 3,86; b = 12,16	0,9879	6,2
		BET	3	m_o = 5,48; c = 295,66; n = 14,45	0,9877	7,2
		GAB	3	m_o = 6,57; c = 43,70; k = 0,89	0,9986	2,2
	Dessorção	Halsey	2	a = 112,82; b = 1,97	0,9895	8,0
		Handerson	2	a = 0,01; b = 1,59	0,9702	9,6
		Oswin	2	a = 13,89; b = 0,40	0,9947	3,2
		Smith	2	a = 5,25; b = 11,95	0,9863	7,4
		BET	3	m_o = 6,63; c = 56,22; n = 10,38	0,9680	9,0
		GAB	3	m_o = 8,21; c = 24,90; k = 0,84	0,9904	5,1

EM1 – Farinha da banana no estádio de maturação 1; EM2 – Farinha da banana no estádio de maturação 1; EM3 – Farinha da banana no estádio de maturação 1; R^2 – Coeficiente de determinação; P – Desvio médio relativo.

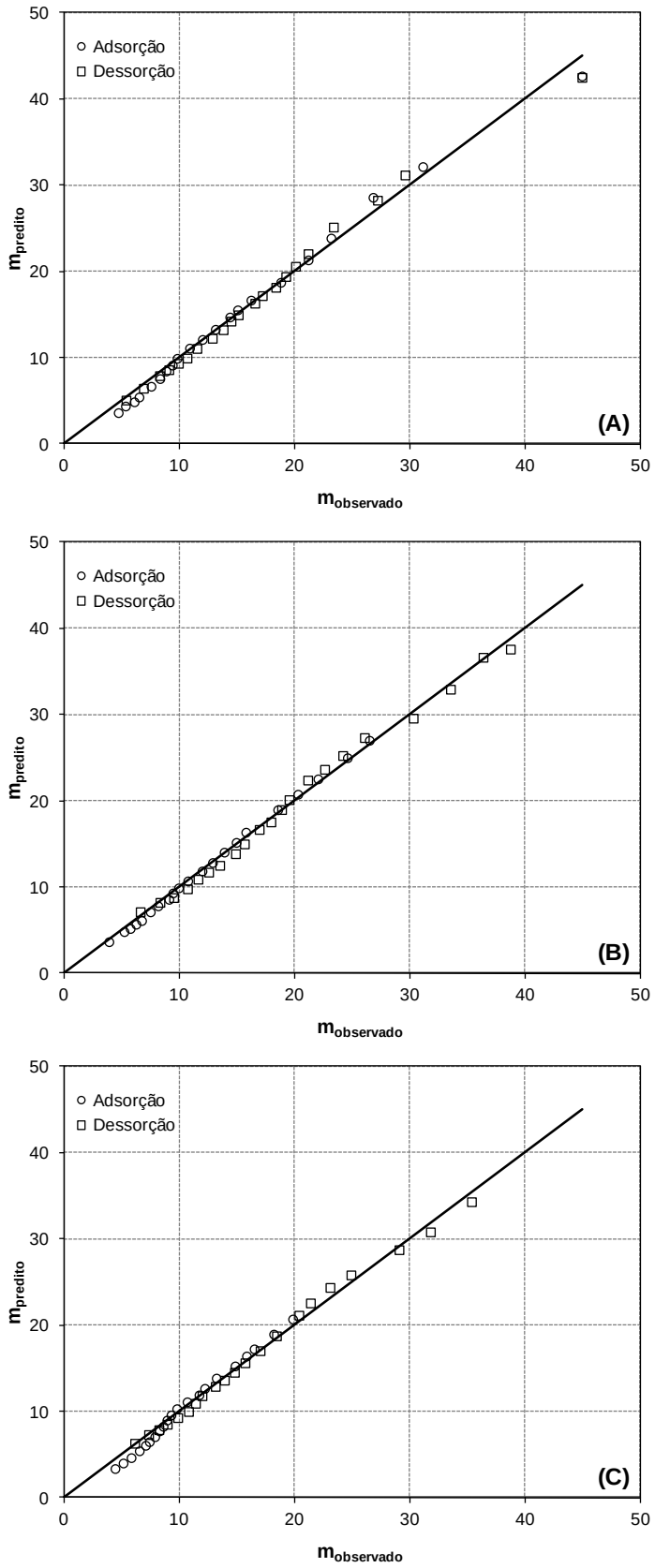


Figura 38. Correlação entre umidades de sorção experimentais e preditos pelo modelo de Oswin, para as farinhas de banana nos estádios de maturação 1 (A), 2 (B) e 3 (C).

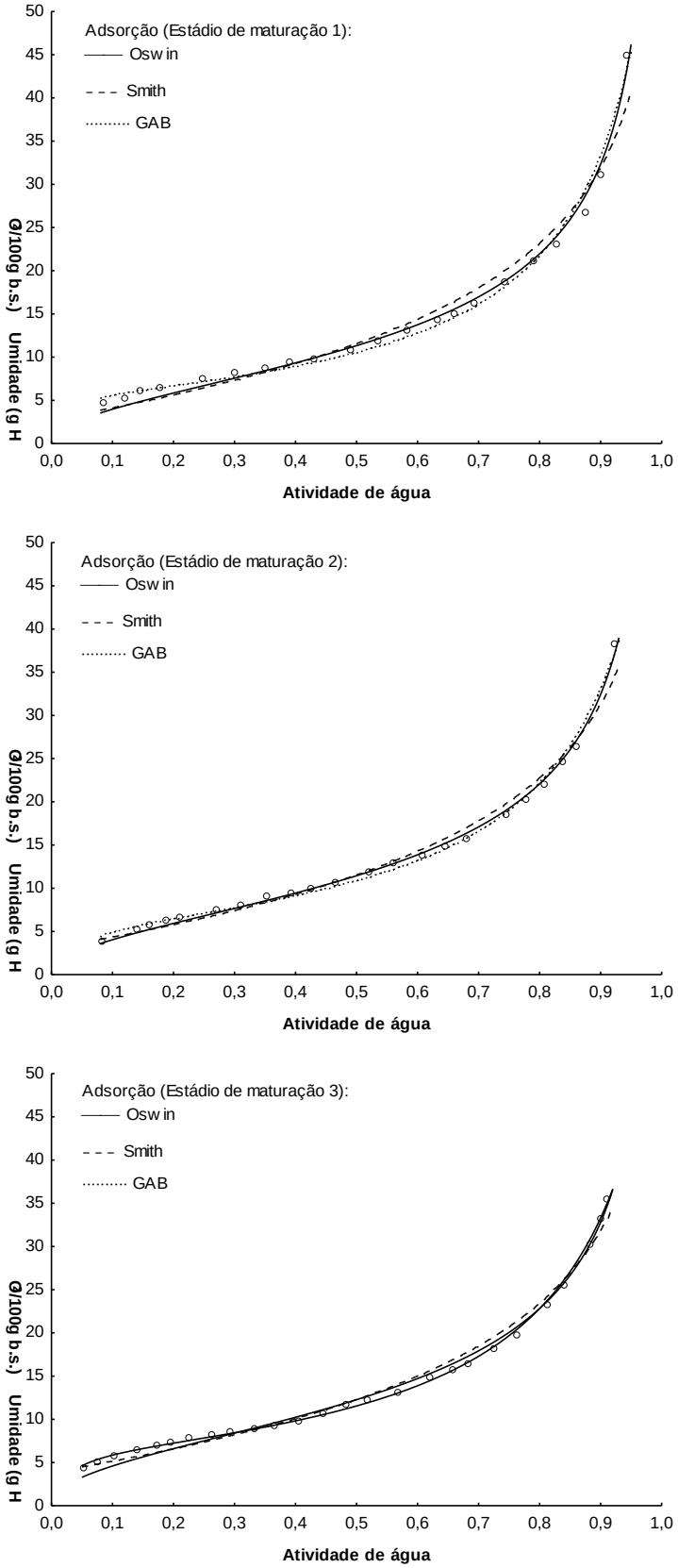


Figura 39. Isotermas de adsorção de umidade das farinhas de banana Nanicão, nos três estádios de maturação, experimentais e preditas pelos modelos de Oswin, Smith e GAB.

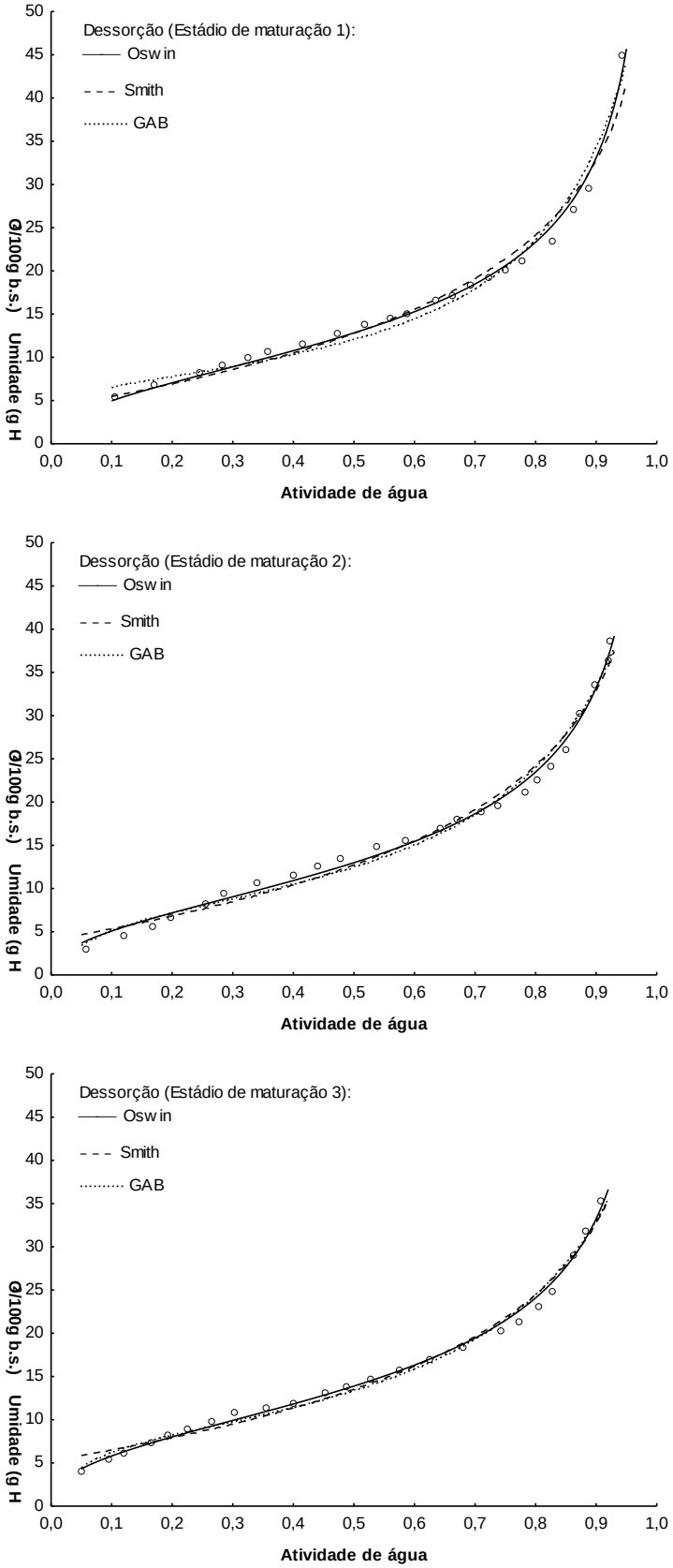


Figura 40. Isotermas de dessorção de umidade das farinhas de banana Nanicão, nos três estádios de maturação, experimentais e preditas pelos modelos de Oswin, Smith e GAB.

5. CONCLUSÃO

A secagem em camada delgada da banana Nanicão, em diferentes estádios de maturação (2-9°Brix) e temperaturas (50-70°C) produziu farinhas com umidade (4,72-9,84%) e atividade de água (0,11-0,36), que atenderam a legislação e garantiram a estabilidade microbiológica dos produtos.

O aumento da temperatura de secagem promoveu o aumento da difusividade efetiva e a redução do tempo de secagem, bem como a redução da umidade, da atividade de água e do teor de açúcares totais e redutores dos produtos.

O estádio de maturação apenas interferiu nos teores de açúcares totais e redutores das farinhas, os quais aumentaram com o grau de amadurecimento da banana.

Os índices de absorção de água (IAA) e de solubilidade em água (ISA), e a granulometria das farinhas de banana, importantes parâmetros tecnológicos de farinhas, não sofreram variação significativa com as condições de processo.

A calorimetria diferencial de varredura (DSC) evidenciou que o amido da farinha produzida a 70°C apresentou maior resistência à gelatinização que a farinha obtida a 50°C.

Os modelos de Page, Page modificado, Logarítmico, Midilli, Aproximação da difusão, Dois termos e Verma se mostraram aptos para predizer com muito boa precisão as cinéticas de secagem da banana Nanicão, nas condições estudadas.

O comportamento tipo II das isotermas e o padrão higroscópico das farinhas de banana não foram alterados em função dos teores de amido (52,65-70,07%) e de açúcares totais (2,88-10,0%) dos produtos.

De acordo com a avaliação higroscópica, farinhas de banana com 2,88 a 10,0% de açúcares totais, terão estabilidade microbiológica (a_w<0,6), quando apresentarem umidade inferior a 11,5%, e estarão mais susceptíveis a ganhar umidade em ambiente com umidade relativa superior a 60%.

O valor da monocamada indicou que a secagem da banana Nanicão com 2 a 9°Brix não necessita ser conduzida até níveis de umidades inferiores a 7,10 g H_2O/100 g b.s.

O modelo de Oswin mostrou-se altamente eficiente na predição das isotermas de adsorção e dessorção de umidade da farinha de banana Nanicão, com 52,65 a 70,07% de amido.

REFERÊNCIAS

AACC. American Association of Cereal Chemists. **Approved Methods of American Association of Cereal Chemists**. St. Paul: AACC, 1995.

ABDULLAH, N.; NAWAWI, A.; OTHMAN, I. Fungal spoilage of starch-based foods in relation to its water activity (a_w). **Journal of Stored Products Research**, v. 36, n. 1 p. 47-54, 2000.

ADAMSON, A. W. **Physical chemistry of surfaces**. New York: John Wiley and Sons, 1976.

ADÃO, R. C.; GLÓRIA, M. B. A. Bioactive amines and carboydrate changes during repening of Prata banana (*Musa acuminata* x *Musa balbisiana*). **Food Chemistry**, v. 90, n. 4, p. 705-711, 2005.

AFONSO JÚNIOR, P. C.; CORRÊA, P. C. Comparação de modelos matemáticos para a descrição da cinética de secagem em camada fina de sementes de feijão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 3, n. 3, p. 349-353, 1999.

AGUIRRE, J. M. de. Desidratação de hortaliças. **In**: AGUIRRE, J. M.; GASPARINO FILHO, J. **Desidratação de Frutas e Hortaliças**. (Manual Técnico). Campinas: ITAL, 2002, 205p.

AKPINAR, E. K.; BICER, Y.; YILDIZ, C. Thin layer drying of red pepper. **Journal Food Engineering**, v. 59, n. 1, p. 99-104, 2003.

ALEXANDRE, H. V.; GOMES, J. P.; NETO, A. L. B.; SILVA, F. L. H.; ALMEIDA, F. A. C. Cinética de secagem de abacaxi cv pérola em fatias, **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 11, n. 2, p. 123-128, 2009.

AL-MUHTASEB, A. H.; McMINN, W. A. M.; MAGEE, T. R. A. Moisture Sorption Isotherm Characteristics of Food Products: A Review. **Food and Bioproducts Processing**, Rugby, v. 80, n. 2, p. 118-128, 2002.

AL-MUHTASEB, A. H.; McMINN, W. A. M.; MAGEE, T. R. A. Water sorption isotherms of starch powders Part 1: mathematical description of experimental data. **Journal of Food Engineering**, Barking, v. 61, n. 3, p. 297-307, 2004.

ALVES, E. J. A. **Cultura da Banana:** Aspectos técnicos socioeconômicos e agroindustriais. 2 ed. Brasilia**:** EMBRAPA-CNPMF, 1999.

ANDERSON, R. A.; CONWAY, H. F.; PFEIFER, V. V.; GRIFFIN JR., E. L. Gelatinization of corn grits by roll and extrusion cooking. Cereal Science Today, Minneapolis: **American Association of Cereal Chemists**, Minneapolis, v. 14, n. 1, p. 4-7, 1969.

ANDRADE, E. C. B. **Análise de alimentos: uma visão química da nutrição**. São Paulo: Varela, 2006.

ANDRADE, S. A.; METRI, J.C.; BARROS NETO, B. de et al. Desidratação osmótica do jenipapo (*Genipa americana* L.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 23, n. 2, p. 276-281, 2003.

ANSELMO, G. C. S.; MATA, M. E. R. M C.; ARRUDA, P. C.; SOUSA, M. C. Determinação da higroscopicidade do cajá em pó por meio da secagem por atomização. **Revista de biologias e ciências da terra**, v. 6, n. 2, p. 58-65, 2006.

AOAC. **Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists**. 16ª ed. Washington, Vol. 2. 1997. 850p.

APARICIO-SAGUILÁN, A. A.; SÁYAGO-AYERDI, S. G.; VARGAS-TORRES, A.; TOVAR, J.; ASCENCIO-OTERO, T.E.; PEREZ, L. A. B. Slowly digestible cookies prepared from resistant starch-rich linearized banana starch. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 20, n. 3, p. 175-181, 2007.

ARSLAN, N.; TOGRUL, H. The fitting of various models to water sorption isotherms of tea stored in a chamber under controlled temperature and humidity. **Journal of Stored Products Research**, v. 42, n. 2, p. 112-135, 2006.

ASCHERI, J. L. R. **Extrusão termoplástica de amidos e produtos amiláceos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA - CTAA, 1997, 43p.

ASSUNÇÃO, A. B.; PENA, R. S. Comportamento higroscópico de resíduo seco de camarão-rosa. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 27, n. 4, p. 786-793, 2007.

BABALIS, S. J.; BELESSIOTIS, V. G. Influence of the drying conditions on the drying constants and moisture diffusivity during the thin-layer drying of figs. **Journal of Food Engineering**, Davis, v. 65, n. 3, p. 449-458, 2004.

BARBOSA-CÁNOVAS, G. V., VEGA-MERCADO, H. **Dehydration of foods**. Boca Raton: Chapman & Hall, 1996, p. 265-281.

BELLO-PEREZ, L. A.; AGAMA-ACEVEDO, E.; SÁYAGO-AYERDI, S. G.; MORENO-DAMIAN, E. Some structural, physicochemical and functional studies of banana starches isolated from two varieties growing in Guerrero, México. **Starch/Stärke**, v. 52, n. 2-3, p. 68-73, 2000.

BERNA, A., ROSSELO, C.; CANELLAS, J.; MULET, A. Drying kinetics of apricots. **In**: SPIESS, W. E. L.; SHUBERT, H. ed. **Engineering and food**. v. 1, Elsevier applied Science, 1990.

BEZERRA, C. V.; AMANTE, E. R.; OLIVEIRA, D. C.; RODRIGUES, A. M. C.; SILVA, L. H. M. Green banana (*Musa cavendishii*) flour obtained in spouted bed – Effect of drying on physico-chemical, functional and morphological characteristics of the starch. **Industrial Crops and Products**, v. 41, p. 241-249, 2013.

BLAHOVEC, J.; YANNIOTIS, S. Modified classidication of sorption isotherms. **Journal of food Engineering**, v. 91, n. 1, p. 72-77, 2009.

BLEINROTH, E. W. Manuseio Pós-colheita, classificação, embalagem e transporte da banana. RUGGIERO (Coord.). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE BANANICULTURA, 1., 1984, Jaboticabal. **Anais**... Jaboticabal: UNESP, 1984. p. 368-385.

BOQUET, R.; CHIRIFE, J.; IGLESIAS, H. A. Equations for fitting water sorption isotherms of foods: II. Evaluation of various two parameter models. **Journal of Food Technology**, London, v. 13, n. 4, p. 319–327, 1978.

BORBA, A. M.; SARMENTO, S. B. S.; LEONEL, M. Efeito dos parâmetros de extrusão sobre as propriedades funcionais de extrusados da farinha de batata-doce, **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n. 4, p. 835-843, 2005.

BORGES, A. M.; PEREIRA, J.; LUCENA, E. M. P. Caracterização da farinha de banana verde, **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas v. 29, n. 2, p. 333-339, 2009.

BORGES, J. T. S.; PIROZI, M. R.; DELLA LUCIA, S. M.; PEREIRA, P. C.; MORAES, A. R. F.; CASTRO, V. C. Utilização de farinha mista de aveia e trigo na elaboração de bolos. **Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Curitiba, v. 24, n. 1, p. 145-162, Curitiba, 2006.

BOTREL, N.; FREIRE JUNIOR, M.; VASCONCELOS, R. M. B.; HENRIQUETA, T. G. Inibição do amadurecimento da banana-Prata-Anão com a aplicação do 1 metilciclopropeno. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 24, n. 1, p. 53-56, 2002.

BRASIL, Ministério da Ciência e Tecnologia. Instituto Centro de Ensino Tecnológico – CENTEC. **Cadernos Tecnológicos:** Produtor de bananas. Fortaleza: Edições Demócrito Rocha, 2004. 64p.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC n° 360, de 23 de dezembro de 2003. Aprova o Regulamento Técnico sobre rotulagem nutricional de alimentos embalados. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Brasília, p. 4, dez. 2003. Seção 1.

BRASIL. Resolução RDC ANVISA/MS nº 263, de 22 de setembro de 2005. Regulamento técnico para produtos de cereais, amidos, farinha e farelos. **Diário Oficial da União**, DF, 23 set. 2005.

BROD, F. P. R. **Avaliação de um secador vibro-fluidizado**. 335f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola –Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2003.

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

BRUCE, D. M. Exposed-layer barley drying: Three models fitted to new data up to 150°C. **Journal of Agricultural Engineering Research**, London, v. 32, n. 4, p. 337-347, 1985.

BRUNAUER, S.; EMMET, P. H.; TELLER, E. Adsorption of gases in multimolecular layers. **Journal of the American Chemical Society**, v. 60, n. 2, p. 309-319, 1938.

CAURIE, M. Hysteresis phenomenon in foods, **International Journal of Food Science & Techonology**, v. 42, p. 45-49, 2007.

CAVALCANTI MATA, M. E. R. M.; DANTAS, L. A.; BRAGA, M. E. D. Programa computacional para secagem de grãos. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 1, n. 1, p. 21-26, 1999.

CEREDA, M. P.; DAIUTO, E. R.; VILPOUX, O. Metodologia de determinação de amido por digestão ácida em microondas. **Revista ABAM**, 2004. 29 p.

CHIRIFE, J.; IGLESIAS, H. A. Equations for fitting water sorption isotherms of foods: Part 1 – a review. **Journal Food Technology**, v. 13, n. 3, p. 159-174, 1978.

CHISTÉ, R. C.; SILVA, P. A.; LOPES, A. S.; PENA, R. S. Sorption isotherms of tapioca flour. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 47, p. 870-874, 2012.

CLAUDINO, A. **Preparação de carvão ativado a partir de turfa e sua utilização na remoção de poluentes**. 2003. 90 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2003.

COELHO, A. H. R.; VILELA, E. R.; CHAGAS, S. J. de R. Qualidade de batata (*Solanum tuberosum L*.) para fritura, em função dos níveis de açúcares redutores e de amido, durante o armazenamento refrigerado e à temperatura ambiente com

atmosfera modificada. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 23, n. 4, p.899-910, 1999.

CORDENUNSI, B. R.; LAJOLO, F. M. Starch breakdown during banana ripening: sucrose synthase and sucrose phosphate-synthase. **Journal of Agricultural Food Chemistry**, Washington v. 43, n. 2, p. 347-351, 1995.

CORRÊA, P. C.; RESENDE, O.; MARTINAZZO, A. P.; GONELI, A. L. D.; BOTELHO, F. M. Modelagem matemática para a descrição do processo de secagem do feijão (*phaseolus vulgaris l*.) em camada delgada. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 2, p. 501-507, 2007.

COZZOLINO, S. M. F. **Biodisponibilidade de nutrientes**. Barueri, SP: Manole, 2005.

DEL VALLE, F. R. Efecto de la actividad del agua sobre la conservación de la calidad de los alimentos. *In*: seminário latino americano de ciência e tecnologia de alimentos. 4. Campinas (SP), Brasil, 1982.

DEUNER, S.; FERREIRA, L. S.; BACARIN, M. A.; BERVALD, C. M. P.; ZANATTA, E. R. Caracterização parcial da invertase ácida solúvel em tubérculos de batata: energia de ativação e efeito de inibidores. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 11, n. 1, p. 45-50, 2005.

DEVAHASTIN, S.; NIAMNUY, C. Modelling quality changes of fruits and vegetables during drying: a review. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 45, n. 9, p. 1755-1767, 2010.

DOYMAZ, I. The kinetics of forced convective air-drying of pumpkin slices. **Journal of Food Engineering**, Oxford, v. 79, n. 1, p. 243-248, 2007.

DUMEIGNIL, F.; SATO, K.; IMAMURA, M.; MATSUBAYASHI, N.; PAYEN, E.; SHIMADA, H. Modification of structural and acidic properties of sol–gel-prepared alumina powders by changing the hydrolysis ratio. **Applied Catalysis A: General**, v. 241, n. 1-2, p. 319-329, 2003.

DUTRA, O. M. **Ciências Nutricionais**. São Paulo: Varela, 2004. 123 p.

ELIASSON, A. C. **Carbohydrates in food**. New York: CRC Press, 2006.

EMAGA, T. H.; ANDRIANAIVO, R. H.; WATHELET, B.; TCHANGO, J. T.; PAQUOT, M. Effects of the stage of maturation and varieties on the chemical composition of banana and plantain peels. **Food Chemistry**, v. 103, p. 590-600, 2007.

EMBRAPA. **A cultura da banana**. Brasília, DF: Editora Embrapa-SPI, p. 9-10, 1997.

EMBRAPA. **O cultivo da bananeira**. Cruz das Almas 2004. Disponível em: <http://200.128.102.2/publicacoes/Livro_Banana.pdf>. Acesso em: 18 de janeiro de 2011.

ENGLYST, H. N.; KINGMAN, S. M.; CUMMINGS, J. H. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. **European Journal of Clinical Nutrition**, London, v. 46, n. 2, p. 33-50, 1992.

ERLINGEN, R.; DELCOUR, J. **A-Formation, anlysis, Structure and Properties of Type III Enzime Resistant Starch**. Katholieke Universiteit Leuven, Belgium: Research Unit Food Chemistry, B-3001 Heverlee, 1994.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponível em: <faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567>. Acesso em: 9 jun. 2012.

FASOLIN, L. H.; ALMEIDA, G. C. de; CASTANHO, P. S.; NETO-OLIVEIRA, E. D. Biscoitos produzidos com farinha de banana: avaliações química, física e sensorial. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 27, n. 3, p. 524-529, 2007.

FERNADES, M. S.; WANG, S. H.; ASCHERI, J. L. R.; OLIVEIRA, M. F.; COSTA, S. A. J. Produtos extrusados expandidos de mistura de canjiquinha e soja para uso como petiscos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 10, p. 1495-1501, 2002.

FOLEGATTI, M. I. S.; MATSUURA, F. C. A. U. **Processamento**. Cruz da Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2004.

FRANCO, B. D. G. M.; LANDGRAF, M. **Microbiologia dos alimentos**. São Paulo: Atheneu, 1996. 182p.

FREITAS, M. C. J.; TAVARES, D. Q. Caracterização do grânulo de amido de bananas (AAA-NANICÃO E AAB *Musa* TERRA). **Ciência e Tecnologia Alimentos**, Campinas, v. 25, n. 2, p 217-222, 2005.

GABAS, A. L.; TELIS, V. R. N.; SOBRAL, P. J. A.; TELIS-ROMERO, J. Effect of maltodextrin and arabic gum in water vapor sorption thermodynamic properties of vacuum dried pineapple pulp powder. **Journal of Food Engineering**, v. 82, n. 2, p. 246-256, 2007.

GAMLATH, S. Impact of ripening stages of banana flour on the quality of extruded products. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 43, n. 9, p. 1541-1548, 2008.

GARCIA, D. C.; BARROS, A. C. S. A.; PESKE, S. T.; MENEZES, N. L. A. Secagem de sementes. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 2, p. 603- 608, 2004.

GARCIA, E. J.; ACEVEDO, E. A.; AYERDI, S. G. S.; AMBRIZ, S. L. R.; PÉREZ, L. A. B. Composition, digestibility and application in breadmaking of banana flour. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 61, n. 3, p. 131-137, 2006.

GARCIA, V.; COLONNA, P.; LOURDIN, D.; BULEON, A.; BIZOT, H.; OLLIVON, M. Thermal transitions of cassava starch at intermediate water contents. **Journal of thermal analysis**, Budapest, v. 47, n. 5, p. 1213-1228, 1996.

GEANKOPLIS, C. J. **Transport processes and separation process principles**. 4 ed. Prentice Hall PTR, 2003.

GUHA, M.; ALI, S. Z.; BHATTACHARYA, S. Effect of barrel temperature and screw speed on rapid viscoanalyser pasting behavior of rice extrudated. **International Journal of Food Science and Technology**, London, v. 33, n. 3 p. 259-266, 1998.

HAENDLER, L. Produits de transformation de la banane. **Fruits**, v. 21, n. 7, p. 329-342, 1966.

HASLINDA, W. H.; CHENG, L. H.; CHONG, L. C.; NOOR AZIAH, A. A. Chemical composition and physicochemical properties of green banana (*Musa acuminate balbisiana Colla cv. Awak*) flour. **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, v. 60, n. 4, p. 232-239, 2009.

HELDMAN, D. R.; HARTEL, R. W. **Principles of Food Processing**. New York: Chapman & Hall, 2000. p. 1-218.

HOSSAIN, M. D.; BALA, B. K.; HOSSAIN, M. A.; MONDOL, M. R. A., Sorption isotherms and heat of sorption of pineapple. **Journal of Food Engineering**, Barking, v. 48, n. 2, p. 103-107, 2001.

IAC – Instituto Agronômico. **Instituto Agronômico cria uma bananeira que dispensa pulverização** Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios, Secretaria de Agricultura e Abastecimento de São Paulo. Disponível em: <http://www.iac.sp.gov.br/AI/noticias/Materias/nanicao.htm>. Acesso em: 18 de jan de 2011.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Programa SIDRA: Bancos de Dados Agregados, levantamento sistemático da Produção agrícola, 2010. Disponível em: <www.sidra.ibge.gov.br>. Acesso em: 9 jun. 2012.

INCROPERA, F. P.; DEWITT, D. P. **Fundamentos de transferência de calor e de massa**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1992. 380p.

IUPAC Recommendations. **Pure and Applied Chemistry**, v. 57, n. 4, p. 603-619, 1985.

IZIDORO, D. R. **Influência da polpa de banana (*Musa cavendishii*) verde no comportamento reológico, sensorial e físico-químico de emulsão**. 2007. 167 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2007.

JANE, J.; CHEN, J. F. Efecct of amylase molecular size and amylopectin brach chain length on past properties of starch. **Cereal Chemistry**. St. Paul, v. 69, n. 1, p. 60-65, 1992.

JANE, J.; CHEN, Y. Y. Y.; LEE, L. F.; McPHERSON, A. E.; WONG, K. S. Effects of amylopectin branch chain length and amylose content on the gelatinization an pasting properties of starch. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v. 76, n. 5, p. 629-637, 1999.

JAYARAMAN, K. S.; DAS GUPTA, D. K. Drying of fruits and vegetables. **In**: MUJUMDAR, A.S. **Handbook of industrial drying**. New York: Marcel Dekker, 2006.

JESUS, S. C. de; FOLEGATTI, M. I. da S.; MATSUURA, F. C. A. U.; CARDOSO, R.L. Caracterização física e química de frutos de diferentes genótipos de bananeira. **Bragantia**, v. 63, n. 3, p. 315-323, 2004.

JESUS, S. C.; MATSUURA, F. C. A.; FOLLEGATTI, M. L. S.; CARDOSO, R. L. Avaliação de banana-passa obtida de frutos de diferentes genótipos de bananeira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 6, p. 573-579, 2005.

JUAREZ-GARCIA E.; AGAMA-ACEVEDO E.; SÁYAGO-AYERDI, E. S. G.; RODRIGUEZ-AMBRIZ S. L.; BELLO-PEREZ L. A. Composition, digestibility and application in breadmaking of banana flour. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 61, n. 3, p. 131-137, 2006.

KNANI, S.; KHALFOUI, M.; HACHICHA, M. A.; LAMINE, A. B.; MATHOUTHI. Modelling of water vapour adsorption on foods products by a statistical physics treatment using the grand canonical ensemble. **Food Chemistry**, v. 132, n. 4, p. 1686-1692, 2012.

LABUZA, T. P. Sorption phenomena in foods. **Food Technology**, Chicago, v. 22, n. 3, p. 15-24, 1968.

LAI, H. M. Effects of hydrothermal treatment on the physicochemical properties of pregelatinized rice flour. **Food Chemistry**, v. 72, n. 4, p. 455-463, 2001.

LANGMUIR, I. The adsorption of gases on plane surfaces of glass, mica and platinum. **Journal of the American Chemical Society**, v. 40, n. 9, p. 1361-1402, 1918.

LEONEL, M.; CEREDA, M. P. Caracterização físico-química de algumas tuberosas amiláceas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 22, n. 1, p. 65-69, 2002.

LEWIS, D. A.; FILDS, W. N.; SHAW, G. P. A. Natural flavonoides present in unripe plantain banana pulp (M*usa sapientium. L. var. paradiaisaca*) protects the gastric mucosa from aspirin induced erosion. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 65, n. 3, p. 283- 288, 1999.

LICHTEMBERG, L. A. Banana: produção, colheita e pós-colheita. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 20, n. 196, p. 73-90, 1999.

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

LOBO, A. R.; SILVA, G. M. L. Amido resistente e sua propriedades físico-químicas. **Revista Nutrição**, Campinas, v. 16, n. 2, p. 1-10, 2003.

LOMAURO, C. J.; BAKSHI, A. S.; LABUZA, T. P. Evaluation of food moisture sorption isotherm equations: Part II - milk, coffe, tea, nut, oilseeds, spices and starchy foods, **Lebensmittel Wissenschaft und Technologie**, Zurich v. 18, n. 1, p. 118-124, 1985.

MAGALHÃES, M. J. M. **Danos físicos em bananas, devido ao transporte manual em terreno plano e acidentado, no interior do talhão**. 2002. 56f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

MAROULIS, Z. B.; TSAMI, E.; MARINOS-KOURIS, D.; SARAVACOS G. D., Application of the GAB model to the moisture sorption isotherms of dried fruits. **Journal of Food Engeneering**, London, v. 7, n. 1, p. 63-78, 1988.

MASEL, R. **Principles of Adsorption and Reaction on solid Surfaces**. 1st ed. New York: Wiley Series in Chemical Engineering, 1996.

MATSUURA, F. A. U.; FOLEGATTI, I. S. **Banana: pós-colheita**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2001. 71p

McCABE, W. L., SMITH, J. C., HARRIOTT, P., **Unit Operations of Chemical Engineering**: 5 ed. Cap.25, McGraw-Hill, 1993.

MEDINA, J. C. **Banana: cultura, matéria-prima, processamento e aspectos econômicos**. 2 ed. Campinas: ITAL, 1995.

MEDINA, V. M.; MATSUURA, F. C. A. U. **Banana: Pós-colheita**. Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, 2004. Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/recursos/Livro_Banana_Cap_12IDZU0HVG1W7.pdf. Acesso em: 07 de maio de 2012.

MELO, W. S.; PENA, R. S.; RODRIGUES, A. M. C.; SILVA, L. H. M. Hygroscopic behavior of buriti (*Mauritia feuxuosa*) fruit. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 31, n. 4, p. 935-940, 2011.

MENEZES, E. W.; TADINI, C. C.; TRIBESS T. B.; ZULETA, A.; BINAGHI, J.; PAK, N.; VERA, G.; DAN, M. C. T.; BERTOLINI, A. C.; CORDENUNSI, B. R.; LAJOLO, F. M. Chemical Composition and Nutritional Value of Unripe Banana Flour (*Musa acuminata*, var. Nanicão). **Plant Foods for Human Nutrition**, Dordrecht, v. 66, p. 231-237, 2011.

MIDILLI, A.; KUCUK, H.; YAPAR, Z. A. New model for single-layer drying. **Drying Technology**, New York, v. 20, n. 7, p.1503-1513, 2002.

MOHAPATRA, D.; RAO, P. S. A thin layer drying model of parboiled wheat. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 66, n. 4, p. 513-518, 2005.

MORAES NETO, J. M.; CIRNE, L. E. M. R.; PEDROZA, J. P.; SILVA, M. G. S.; Componentes químicos da farinha de banana (*Musa sp*.) obtida por meio de secagem natural. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, n. 3, p. 316-318, 1998.

MORALES, J. F.; BOEKEL, M. A. J. S. Van. A study on advanced Maillard reaction in heated casein/sugar solutions: colour formation. **International Dairy Journal**, v. 8, n. 10-11, p. 907-915, 1999.

MOREIRA, R. S. **Banana**: teoria e prática de cultivo. 2 ed. São Paulo: Fundação Cargill, 1999.

MOREIRA, R. S.; SAES, L. A. Considerações sobre o banco de germoplasma do IAC. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 7, 1984, Florianópolis. **Anais**. Florianópolis: SBF/EMPASC, 1984. v.1, p. 220-236.

MORTON, I. D.; MACLEOD, A. J. **Food Flavours**. Amsterdam: Elsevier Science Publishers, 1990.

MOTA, R. V. **Metabolismo amido-sacarose e determinação de açúcares solúveis em alguns cultivares de banana (*Musa spp*)**. São Paulo, 1997. 75f. Tese de Mestrado (Mestre em Ciência dos Alimentos) – Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo (USP)

MOTA, R. V.; LAJOLO, F. M.; CIACCO, C.; CORDENUNSI, B. R. Composition and functional properties of banana flour from different varieties. **Starch/Stärke**, Weinheim, v. 52, n. 2/3, p. 63-68, 2000.

MOWLAH, G.; TAKANO, K.; KAMOI, I.; OBARA, T. Water transport mechanism and some aspects of quality changes during air dehydration of bananas. **Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie**, v. 16, n. 2, p. 103-107, 1983.

MUJUMDAR, A. S. **Handbook of industrial drying**. New York: Marcel Dekker, 1995. 730 p

MUYONGA, J. H.; RAMTEKE, R. S.; EIPESON, W. E. Predehydration steaming changes physicochemical properties of unripe banana flour. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 25, p. 35-47, 2001.

NAJAFPOUR, G. D.; SHAN, C. P. Enzymatic hydrolysis of molasses. **Bioresource Techonology**, v. 86, n. 1, p. 91-94, 2002.

NASCIMENTO JUNIOR, B. B.; OZORIO; L. P.; REZENDE, C. M.; SOARES, A. G.; FONSECA, M. J. de O. Diferenças entre bananas de cultivares Prata e Nanicão ao longo do amadurecimento: características físico-químicas e compostos voláteis. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 28, n. 3, p. 649-658, 2008.

NGUYEN, M-H.; PRICE, W. E. Air-drying of banana: Influence of experimental parameters, slab thickness, banana maturity and harvesting season. **Journal of Food Engineering**, v. 79, n. 1, p. 200-207, 2007.

OLIVEIRA, M. **Efeito da composição química, origem e grau de maturação sobre a cor e a crocância da banana nanica obtida por secagem HTST**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de alimentos). Faculdade de Engenharia de Alimentos. Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Campinas, SP, 2007.

OLIVEIRA, R. A.; OLIVEIRA, W. P.; PARK, K. J. Determinação da difusividade efetiva de raiz de chicória. **Engenharia Agrícola**, v. 26, n. 1 p. 181-189, 2006.

OLIVEIRA, S. O. de; ALVES, E. J.; SHEPHERD, K.; DANTAS, J. L. L. Cultivares. **In**: ALVES, E. J. (Org.) **A cultura da banana: aspectos técnicos, socioeconômicos e agroindustriais**. 2 ed. Brasília: Embrapa- SPI / Cruz das Almas: Embrapa-CNPMF, p.85-105, 1999.

ORDÓÑES, J. A. **Tecnologia de Alimentos**. Tradução: Fátima Murad. Porto Alegre: Artmed, v. 1, 2005. 294 p.

OZDEMIR, M.; DEVRES, Y. O. The thin layer drying characteristics of hazelnuts during roasting. **Journal of Food Engineering**, v. 42, n. 4, p. 225-233, 1999.

PACHECO-DELAHAYE, E.; MALDONADO, R.; PÉREZ, E.; SCHROEDER, M. Production and characterization of unripe plantain (*Musa paradisiacal L.*) flours. **Interciencia**, v. 33, n.4, p. 290-296, 2008.

PANCHARIYA, P. C.; POPOVIC, D.; SHARMA, A. L. Thin-layer modeling of black tea drying process. **Journal of Food Engineering**, Davis, v. 52, n. 4, p. 349-357, 2002.

PAREDES-LÓPEZ, O.; BELLO-PÉREZ, L. A.; LÓPEZ, M. G. Amylopectin, structural, gelatinization and melting studies. **Food Chemistry**, v. 50, n. 4, p. 411-418, 1994.

PARK, K. J. B. Considerações termodinâmicas das isotermas. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 10, n. 1, p. 83-94, 2008.

PARK, K. J.; BIN, A.; BROD, F. P. R. obtenção das isotermas de sorção e modelagem matemática para a pêra bartlett (*Pyrus* sp.) com e sem desidratação osmótica. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 21, n. 1, p. 73-77, 2001.

PARK, K. J.; NOGUEIRA, R. I. Modelos de ajuste de isotermas de sorção de alimentos. In: **Engenharia Rural**, Piracicaba: ESALQ/USP, v. 3, n. 1, p.81-86, 1992.

PARK, K. J.; VOHNIKOZA, Z.; BROD, F. P. R. Evaluation of drying parameters and desorption isotherms of garden mint leaves (*Mentha crispa L.*). **Journal of Food Engineering**, Davis, v. 51, n. 3, p. 193-199, 2002.

PARK, K. J.; YADO, M. K. M.; BROD, F. P.; Estudo de secagem de Pêra Bartlett (pyrus sp.) em fatias. Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas, v. 21, n. 3, p. 288-292, 2001.

PENA, R. S.; MENDONÇA, N. B. Secagem em camada delgada da fibra residual do maracujá. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, Curitiba, v. 27, n. 2, p. 257-270, jul./dez. 2009.

PINHEIRO, G. S. **Propriedades físicas, termofísicas e físico-químicas de purê de banana adicionado de açúcar**. 2004. 141 f. Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos), Universidade Federal de Lavras. Lavras. 2004.

PONTES, S. F. O.; SANTOS, C. T.; BONOMO, F. R. C.; PONTES, L. V.; FONTAN, R. C. I. Determinação das curvas de secagem em camada delgada de pimenta de cheiro (*Capsicum chinense*) a diferentes temperaturas. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 11, n. 2, p.143-148, 2009.

PORTER, H. F.; SCHURR, G. A.; WELLS, D. F.; SEMRAU, T. K. Solids drying and gas-solid **In**: PERRY, R. H. and CHILTON, C. H., **Chemical Engineer's Handbook.** McGraw-Hill Co. 6 ed. Sec. 20-4, 1984.

PRABHA, T. N.; BHAGYALAKSHIMI, N. Carbohydrate metabolism in ripening banana fruit. **Phytochemistry**, v. 48, n. 6, p. 915–919, 1998.

RAMOS, D. P.; LEONEL, M.; LEONEL, S. Amido resistente em farinhas de banana verde. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 20, n. 3, p. 479-483, 2009.

RESENDE, O.; CORRÊA, P. C.; GONELI, A. L. D.; BOTELHO, F. M.; RODRIGUES, S. Modelagem matemática do processo de secagem de duas variedades de feijão (Phaseolus vulgaris L.). **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 10, p. 17- 26, 2008.

RIBEIRO, E. P.; SERAVALLI, E. A. **Química dos alimentos**. São Paulo: Edgard Blucher: Instituto Mauá de Tecnologia, 2004. 184 p.

ROCHA, J. L. V. Fisiologia pós-colheita de banana. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE BANANICULTURA, 1984, Jaboticabal. **Anais**... Jaboticabal: FCAV, 1984. p.353-367.

ROCKLAND, L. B.; NISHI, S. K. Influence of water activity on food product quality and stability. **Food Technology**, v. 34, p. 42-59, 1980.

ROMERO-PEÑA, L. M.; KIECKBUSCH, T. G. Influência de condições de secagem na qualidade de fatias de tomate. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 6, n. 1, p. 69-76, 2003.

RUIZ-LÓPEZ, I. I.;MARTÍNEZ-SÁNCHEZ, C. E.; COBOS-VIVALDO, R.; HERMAN-LARA, E. Mathematical modeling and simulation of batch drying of foods in fixed beds with airflow reversal, **Journal of Food Engineering**, v. 89, n. 3 p. 310-318, 2008.

RUTHVEN, D. M., **Principles of Adsorption and Adsorption Processes**. New York: John Wiley & Sons, 1984. 433p.

SALWIN, H. Moisture levels required for stability in dehydrated foods. **Food Technology**, v. 17, n. 9, p. 1114-1121, 1963.

SANTOS, A. P.; REBOUÇAS, T. N. H.; SOUZA, J. C. C.; BONOMO, R. C. F.; SILVA, L. M. Caracterização e avaliação da qualidade de sopas desidratadas elaboradas com farinha de batata durante o tempo de armazenamento. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, v. 28, n. 1, p. 57-68, 2010a.

SANTOS, C. M. S.; VILAS BOAS, E. V. B.; BOTREL, N.; PINHEIRO, A. C. M.; Influência da atmosfera controlada sobre a vida pós-colheita e qualidade de banana "prata anã". **Ciência e Agrotecnologia**, v. 30, n. 2, p. 317-322, 2006.

SANTOS, F. S. A.; FIGUEIRÊDO, QUEIROZ, A. J. M. Isotermas de Adsorção de umidade de farinhas de mandioca temperadas, **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 6, n. 2, p. 149-155, 2004.

SANTOS, J. F. **Avaliação das propriedades nutricionais de barras de cereais elaboradas com farinha de banana verde**. Dissertação (Mestrado em ciências da saúde) Faculdade de ciências farmacêuticas de São Paulo, 2010.

SANTOS, P.; SILVA, F. S.; PORTO, A. G.; SILVA, F. T. C.; FURTADO, G. F. Influência de pré-tratamentos na cinética de secagem de banana da variedade terra (*Musa Sapientum*, Linneo). **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v. 4, n. 2, p. 218-234, 2010b.

SARAVACOS, G.; ROUZEOUS, G. S. Diffusivity of moisture in air-drying of starch gels. **Engineering and Food,** London and New York**:** Brian M. Mckenna, Elsevier Applied Science Publishes, v. 1, p. 493-507, 1984.

SCOTT, W. J. Water relations of food spoilage microorganisms. **Advents Food Research**, v. 7, n. 9, p. 83-127, 1957.

SEYMOUR, G. B.; TAYLOR, J. E.; TUCKER, G. A. **Biochemistry of fruit ripening**. London: Chapman & Hall, 1993. 464 p.

SHATADAL P.; JAYAS, D. S. Sorption isotherms of foods. **In**: MUJUMDAR A. S. **Drying of Solids** (ed.). New Delhi: Oxford & IBH Publishing Co. Pvt. Ltd, 1992 p. 433–448.

SILVA, A. S.; MELO, K. S.; ALVES, N. M. C.; FERNANDES, T. K. S.; FARIAS, P. A.: Cinética de secagem em camada fina da banana maçã em secador de leito fixo. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 11, n. 2, p. 129-136, 2009.

SILVA, M. H. L.; SILVA, C. O. Caracterização parcial de amido de banana-nanica (*Musa sp*. AAA Canvendish). **Revista Ceres**, Viçosa, v. 52, n. 303, p. 751-752, 2005.

SILVA, V. A. **Efeito de pré-tratamentos químicos na taxa de secagem de acerola em monocamada**. 1998. 130f Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1998.

SOUSA, J. S. I. de; PEIXOTO, A. M.; TOLEDO, F. F. de. **Enciclopédia agrícola brasileira**. Sao Paulo: EDUSP, 1995. v.1 499p. il. Orbra coordenada por Julio S. Inglez de Sousa.

SOUSA, P. H. M.; FILHO, M. S. S.; MAIA, G. A.;FIGUEIREDO, R. W.; NETO, M. A. S.; CARVALHO, J. M. Avaliação das curvas de secagem e da alteração de cor e textura da banana processada por desidratação osmótica seguida de secagem. **Revista ciência agronômica**, v. 34, n. 2 p. 179-185, 2003.

STATSOFT, INC. (2004). STATISTICA for Windows [Computer program manual]. Tulsa, OK: StatSoft, Inc., 2325 East 13th Street, Tulsa, OK 74104, (918) 583-4149, fax: (918) 583-4376.

STRINGHETA, A. C. O.; MARTINEZ, H. P.; CARDOSO, A. A.; COSTA, C. A. Teores foliares de macronutrientes em crisântemos cultivados em substratos contendo composto de lixo urbano e casca de arroz carbonizada. **Revista Brasileira de Horticultura Ornamental**, Campinas, v. 9, n. 2, p. 191-197, 2003.

SUNTHARALINGAM, S.; RAVINDRAN, G. Physical and biochemical properties of green banana flour. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 43, n. 1, p. 19-27, 1993.

TACO. Tabela brasileira de composição de alimentos / NEPA-UNICAMP – T113 Versão II. 2. ed. Campinas, SP: NEPA-UNICAMP, 2006. 113p.

TADINI, C. C.; DITCHFIELD, C. Processo continuo para obtenção de purê de banana (*Musa cavendishii*): aspectos de engenharia. **In**: LAJOLO, F. M.; MENEZES, E.W. (eds). **Carbohidratos en Alimentos Regionales Iberoamericanos**. São Paulo: EDUSP, 2006, p. 429-455.

TADINI, C. C.; SAKUMA, H.; FREITAS, E. Estudo da estabilidade microbiológica do purê de banana de cultivar *Musa Cavendish*. In: XVI congresso brasileiro de ciência e tecnologia de alimentos, 1998, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos, 1998. v. 3. p. 1833-1836.

TIMMERMANN, E. O. A BET-like three sorption stage isotherm, **Journal of the Chemical Society, Faraday Transactions**, v. 85, n. 7, p. 1631–1645, 1989.

TORRES, L. G.; EL-DASCH, A. A.; CARVALHO, C. W. P; ASCHERI, J. L. R.; MIGUEZ, M. Efeito da umidade e da temperatura no processamento da farinha de banana verde (*Musa acuminata,* grupo AAA) por extrusão termoplástica. **Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Curitiba, v. 23, n. 2, p. 273-290, 2005.

TORREZAN, R. **Farinha de banana**. Rio de Janeiro: Embrapa Agroindústria de Alimentos, 1999. 15p.

TRIBESS, T. B.; HERNÁNDEZ-URIBE, J. P.; MÉNDEZ-MONTEALVO, M. G. C.; MENEZES, E. W.; BELLO-PÉREZ, L. A.; TADINI C. C. Thermal properties and resistant starch content of green banana flour (*Musa cavendishii*) produced at different drying conditions. **Food Science and Technology**, Switzerland, v. 42, n. 5, p. 1022- 1025, 2009.

URQUHART, A. R. Sorption of water by cellulose and starch. *In*: HONEYMAN J. (Ed.). **Recent advances in the chemistry of cellulose and starch**, London: Interscience Publishers, 1959, p. 240-264.

VALLE, H. de F. **Yes, nós temoxs bananas: histórias e receitas com biomassa de banana verde**. São Paulo: Editora Senac, 2003, p. 21–80.

VAN DEN BERG, C. Description of water activity of foods for engineering purposes by means of the G.A.B. model of sorption. **In**: MCKENNA B. M. (Ed.), **Engineering and foods,** New York: Elsevier, 1984, v. 1, p. 311-321.

VAN DEN BERG, C.; BRUIN, S. Water activity and its estimation in food systems: theoretical aspects. *In*: ROCKLAND, L. B.; STEWARDS, G. F. (Eds.), **Water Activity**, **Influence on Food Quality**, New York: Academic Press, 1981, p. 1-61.

WALISZEWSKI, K. N.; APARICIO, M. A.; BELLO, L. A.; MONROY, J. A. Changes of banana starch by chemical and physical modification. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 52, n. 3, p. 237-242, 2003.

WALTER, M.; SILVA, L. P. I.; EMANUELLI, T. Amido resistente: características físico-químicas, propriedades fisiológicas e metodologias de quantificação. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 4, p. 974-980, 2005.

WAUGHON, T. G.; PENA, R. S. Modelagem da secagem em camada delgada da fibra residual do abacaxi. **Boletim do Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos,** Curitiba, v. 26, n. 2, p. 297-306, 2008.

WILLS, R. B. H.; LIM, J. S. K.; GREENFIELD, H. Changes in chemical composition of cavendish banana (*Musa acuminata*) during ripening. **Journal of Food Biochemistry**, v. 8, n. 2, p. 69-77, 1984.

WILLS, R. H. H.; LEE, T. H.; GRAHAM, D.; McGLASSON, W. D.; HALL, E. G. **Postharvest:** an introduction to the physiology and handling of fruit and vegetables. London: AVI, 1981. 163p.

YAN, Z.; SOUSA-GALLAGHER, M. J.; OLIVEIRA, F. A. R. Sorption isotherms and moisture sorption hysteresis of intermediate moisture content banana. **Journal of Food Engineering**, v. 86, n. 3, p. 342-348, 2008.

YANNIOTIS, S.; BLAHOVEC, J. Model analysis of sorption isotherms. **Food Science and Technology**, v. 42, n. 10, p. 1688-1695, 2009.

ZOGZAS, N. P.; MAUROULIS, Z. B.; MARINOS-KOURIS, D. Moisture diffusivity data compilation in foodstuffs. **Drying Technology**, Bangkok, v.14, n.10, p. 2225-2253, 1996.