



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS**  
**Faculdade de Engenharia de Alimentos**  
**Departamento de Tecnologia de Alimentos**



# **Obtenção de farinha de banana verde por diferentes processos de secagem e aplicação em produtos alimentícios**

**Rita de Cássia Salvucci Celeste Ormenese**  
Engenheira de Alimentos  
Mestre em Tecnologia de Alimentos

Profa. Dra. Fernanda Paula Collares Queiroz  
Orientadora

Dr. Alfredo de Almeida Vitali  
Co-Orientador

Tese de Doutorado apresentada à Faculdade de  
Engenharia de Alimentos para a obtenção do  
título de Doutor em Tecnologia de Alimentos

Campinas – São Paulo  
2010

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DA FEA – UNICAMP

Or57o Ormenese, Rita de Cássia Salvucci Celeste  
Obtenção de farinha de banana verde por diferentes processos de  
secagem e aplicação em produtos alimentícios / Rita de Cássia Salvucci  
Celeste Ormenese. -- Campinas, SP: [s.n], 2010.

Orientador: Fernanda Paula Collares Queiroz  
Co-orientador: Alfredo de Almeida Vitali  
Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas. Faculdade  
de Engenharia de Alimentos.

1. Farinha de banana verde. 2. Amido resistente. 3. Secador  
rotativo. 4. Atomização. 5. Secador de bandejas. I. Collares-  
Queiroz, Fernanda Paula. II. Vitali, Alfredo de Almeida. III.  
Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia de  
Alimentos. IV. Título.

(cars/fea)

Título em inglês: Production of green banana flour by different drying processes and its  
application in food products.

Palavras-chave em inglês (Keywords): Green banana flour, Resistant starch, Drum  
Dryer, Spray dryer, Tray dryer.

Titulação: Doutor em Tecnologia de Alimentos

Banca examinadora: Fernanda Paula Collares Queiroz

Caroline Joy Steel

Elizabeth Harumi Nabeshima

Miriam Dupas Hubinger

Vera Sônia Nunes da Silva

Programa de Pós Graduação: Programa em Tecnologia de Alimentos

**Este exemplar corresponde à redação final da tese defendida em \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_  
por Rita de Cássia S. Celeste Ormenese aprovado pela Comissão Julgadora  
em \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_.**

---

Prof<sup>a</sup>. Dra. Fernanda Paula Collares Queiroz  
(Orientador)

---

Prof<sup>a</sup>. Dra. Caroline Joy Steel  
(Membro)

---

Prof<sup>a</sup>. Dra. Célia Maria Landi Franco  
(Membro)

---

Dra. Elizabeth Harumi Nabeshima  
(Membro)

---

Prof. Dr. Flávio Luis Schmidt  
(Membro)

---

Prof<sup>a</sup>. Dra. Maria Teresa Pedrosa da Silva  
(Membro)

---

Prof<sup>a</sup>. Dra. Miriam Dupas Hubinger  
(Membro)

---

Dra. Vera Sônia Nunes da Silva  
(Membro)



**A Deus, por tantas bênçãos e por  
sempre iluminar os meus caminhos.**

**Ao meu marido Francisco, pelo constante  
incentivo, apoio e compreensão.**

**Ao Gustavo e à Larissa, nossos filhos  
tão amados...**

**Aos meus pais Elza e Lino, que  
sempre me incentivaram a estudar e  
a buscar novos conhecimentos.**



## **AGRADECIMENTOS**

À Fernanda pela orientação, apoio e, principalmente, pela amizade.

Ao Alfredo, pelas valiosas sugestões durante a realização dos experimentos.

Aos membros da banca examinadora, pelas sugestões que contribuíram para melhorar a redação final deste trabalho.

À Eliete, diretora do LAFISE-CCQA/ITAL, pelo apoio, incentivo e amizade.

A Bananas Bernardes, em especial aos Srs. Edmar Bernardes e Edvandro Bernardes, pelo fornecimento da matéria-prima empregada neste estudo.

Ao Carlos Colucci, pelas viagens a Palmital para a retirada da matéria-prima.

À Maria Teresa P. Silva pelo excelente treinamento sobre a análise de amido resistente.

À Vera Nunes da Silva do CCQA, pela enorme colaboração na realização das principais análises deste trabalho.

Ao Luciano Armiliato do GEPC/ITAL, pela colaboração durante a realização dos experimentos e pelo auxílio na parte estatística.

Aos colegas do GEPC: Ernesto Quast, Jorge Hashimoto, Renato Pereira e Priscila Moreno pela colaboração durante a realização dos experimentos.

Aos bolsistas de Iniciação Científica (PIBIC-CNPq), que participaram deste projeto: Fábio Doná, Matheus D'Angioli, Ana Letícia de Biazzzi e Juliana Ferini.

Aos técnicos do LAFISE: Camila Teles, Carolina Dias, Larícia Cardoso, Márcio Costa, Michele Reis e Xênia Ferreira, pelo auxílio nas análises sensoriais e físicas.

À Claudia Almeida e à Aparecida Sônia de Souza do CCQA, pela colaboração nas análises químicas e nos processamentos de liofilização, respectivamente.

À Prof<sup>a</sup> Célia Franco da UNESP de São José do Rio Preto e suas orientadas Denise, Luciana e Raquel pelo apoio nas análises feitas no RVA.

À Elizabeth Nabeshima pela colaboração durante os processamentos dos pães na planta-piloto de Cereal Chocotec/ITAL.

Aos pesquisadores do LAFISE: Aline Garcia, Kátia Cipolli e Katumi Yotsuyanagi pelas sugestões e incentivo.

Ao Maurício Aguirre pela colaboração como Conselheiro Acadêmico do Programa de Pós-Graduação da EMBRAPA.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo financiamento desta pesquisa (Processo nº 07/58546-8).

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), pela concessão de bolsa de pós-graduação.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão das bolsas de Iniciação Científica.



## RESUMO

A polpa da banana verde é rica em amido resistente (AR), que se comporta no organismo como a fibra alimentar. Esta pesquisa teve como objetivo viabilizar tecnologicamente a obtenção de farinha da banana verde (FBV) em que o teor de AR da matéria-prima fosse preservado, permitindo, além do benefício nutricional, o aproveitamento de uma matéria-prima de baixo valor comercial e pouco uso industrial até o momento. Este fato pode contribuir para a redução do elevado índice de perda da banana no país, que é de aproximadamente 40%, somente na fase pós-colheita. Três variedades de banana foram avaliadas, sendo que a variedade Nanicao Jangada foi empregada como matéria-prima na seqüência do estudo. Como etapas prévias aos processos de secagem, foram estabelecidos: (i) o tratamento térmico em autoclave (135°C/30 segundos) para a remoção das cascas; e (ii) a inativação enzimática pelo emprego da combinação de ácido ascórbico, ácido cítrico e metabissulfito de sódio. As técnicas de secagem avaliadas e as condições operacionais empregadas foram: (i) Tambor rotativo: tempo de rotação dos cilindros = 1 minuto; pressão de vapor = 246 kPa e distância entre os cilindros = 0,55 mm; (ii) Atomização: temperatura do ar = 160°C; velocidade de rotação do atomizador = 34.355 rpm e vazão de alimentação = 23,9 mL/min; (iii) Bandejas: temperatura = 55°C e velocidade do ar = 1,4 m/s; (iv) Liofilização: temperatura da câmara: -20°C e pressão: 14 Pa. Foi utilizado delineamento composto central rotacional para otimizar a secagem em tambor rotativo e por atomização. A secagem em tambor rotativo causou a perda de mais de 95% do AR presente na matéria-prima. Os processos de liofilização, secagem por atomização e em bandejas foram eficazes em preservar o AR da matéria-prima. Como o processo de secagem em bandejas requer menos investimento e apresenta custos de operação inferiores aos processos de atomização e liofilização, selecionou-se a farinha preparada neste processo para a aplicação em pão de forma e barras de cereais. O pão com 20% de FBV apresentou um teor de AR 16% superior àquele do pão padrão (sem adição de FBV), mas foi menos aceito que os demais. A amostra com 10% FBV não diferiu da amostra padrão quanto à aceitação pelos

consumidores, porém, também não diferiu quanto ao teor de AR, não justificando o emprego da FBV neste produto. A adição de 10% e 20% FBV em barra de cereais resultou em produtos com 6% e 11% de AR, respectivamente. A amostra com 10% de FBV não diferiu da amostra padrão em nenhum dos atributos sensoriais avaliados.

**Palavras-chave:** farinha de banana verde, amido resistente, secador rotativo, atomização, liofilização, secador de bandejas.

## ABSTRACT

Green banana pulp is rich in resistant starch (RS), which behaves as a dietary fiber in the organism. The objective of this research was to make the production of green banana flour (GBF) with the RS content of the raw material preserved, technologically feasible. Apart from the nutritional benefit, the production of GBF with an elevated RS content allows for the use of a raw material with low commercial cost and little industrial use up to the present moment, which could contribute to a reduction in its elevated waste index, approximately 40%, just in the post-harvest phase. Three banana varieties were evaluated, the variety *Nanicão Jangada* being defined as the raw material for subsequent studies. The following were defined as the pre-drying steps: (i) heat treatment in an autoclave (135°C/30 seconds) to remove the skins; and (ii) enzymatic inactivation using a combination of ascorbic acid, citric acid and sodium metabisulphite. The drying processes studied and the conditions employed for each process were: (i) Drum dryer: drum rotation time = 1 minute; vapor pressure = 246 kPa and distance between the drums = 0.55 mm; (ii) Spray dryer: air temperature = 160°C; atomizer speed = 34,355 rpm and feed rate = 23.9 mL/min; (iii) Tray dryer: temperature = 55°C and air speed = 1.4 m/s; (iv) Freeze dryer: chamber temperature = -20°C and pressure = 14 Pa. A central composite rotatable design was applied to optimize drum drying and spray drying conditions. The drum dryer resulted in more than 95% loss of the RS present in the raw material, but the freeze dryer, spray dryer and tray dryer were efficient in preserving the RS of the raw material. Since the tray drying process requires less investment and shows lower operational costs than the freeze drying and spray drying processes, the flour prepared in the tray dryer was selected for application in loaf bread and cereal bars. The bread containing 20% GBF showed an increase of 16% in RS as compared to that in the standard (without the addition of GBF), but was less accepted than the other samples. The sample containing 10% GBF did not differ from the standard with respect to consumer acceptance but also did not differ with respect to the RS content, not justifying the use of GBF in this product. The addition of 10% and 20%

GBF to the cereal bars resulted in products containing 6% and 11% RS, respectively. The sample containing 10% GBF did not differ from the standard for any of the sensory attributes evaluated.

**Keywords:** green banana flour, resistant starch, drum dryer, spray dryer, freeze dryer, tray dryer.

## LISTA DE FIGURAS

		Pg
<b>Figura 1.</b>	Distribuição da produção de bananas por região do Brasil em 2006.....	5
<b>Figura 2.</b>	Escala de Maturação de Von Loesecke .....	9
<b>Figura 3.</b>	Esquema da estrutura do AR tipo I e tipo II .....	21
<b>Figura 4.</b>	Grânulo de amido de banana verde Nanicão com 17 dias após a colheita e de Musa paradisíaca .....	24
<b>Figura 5.</b>	Curva de viscosidade típica do RVA mostrando os parâmetros comumente analisados .....	52
<b>Figura 6.</b>	Fluxograma do processamento dos pães de forma.....	56
<b>Figura 7.</b>	Fluxograma do processamento das barras de cereais .....	60
<b>Figura 8.</b>	Molde empregado para a formatação e barras de cereais após laminação, resfriamento e retirada dos moldes .....	60
<b>Figura 9.</b>	Teor de amido resistente de diferentes lotes de banana verde usados como matéria-prima.....	65
<b>Figura 10.</b>	Perfil de temperatura em várias posições da banana durante o tratamento térmico a 130°C/45 segundos.....	68
<b>Figura 11.</b>	Perfil de temperatura em várias posições da banana durante o tratamento térmico a 130°C/60 segundos.....	69
<b>Figura 12.</b>	Perfil de temperatura em várias posições da banana durante o tratamento térmico a 135°C /30 segundos .....	69
<b>Figura 13.</b>	Perfil de temperatura em várias posições das bananas durante o tratamento térmico a 140°C/15 segundos .....	70
<b>Figura 14.</b>	Aspecto da banana tratada termicamente a 135°C/30 segundos, antes e após a remoção da casca .....	70
<b>Figura 15.</b>	Superfícies de resposta e curvas de contorno para a resposta L0* - L1* em função dos teores de AA e AC, AA e MBS e AC e MBS ...	75
<b>Figura 16.</b>	Superfícies de resposta e curvas de contorno para a resposta L0* - L3* em função dos teores de AA e AC, AA e MBS e AC e MBS ...	76
<b>Figura 17.</b>	Superfícies de resposta e curvas de contorno para a resposta rendimento em farinha em função do tempo e da pressão do vapor, do tempo e da distância entre os cilindros e em função da pressão de vapor e da distância entre os cilindros .....	82

<b>Figura 18.</b>	Superfícies de resposta e curvas de contorno para a resposta umidade em função do tempo e da pressão do vapor, do tempo e da distância entre os cilindros e em função da pressão de vapor e da distância entre os cilindros .....	83
<b>Figura 19.</b>	Superfícies de resposta e curvas de contorno para a resposta atividade de água em função do tempo e da pressão do vapor, do tempo e da distância entre os cilindros e em função da pressão de vapor e da distância entre os cilindros .....	84
<b>Figura 20.</b>	Superfícies de resposta e curvas de contorno para a resposta a* em função do tempo e da pressão do vapor, do tempo e da distância entre os cilindros e em função da pressão de vapor e da distância entre os cilindros .....	85
<b>Figura 21.</b>	Superfícies de resposta e curvas de contorno para a resposta b* em função do tempo e da pressão do vapor, do tempo e da distância entre os cilindros e em função da pressão de vapor e da distância entre os cilindros .....	86
<b>Figura 22.</b>	Superfícies de resposta e curvas de contorno para a resposta rendimento em farinha em função da temperatura e da pressão do ar, da temperatura e da rotação da bomba de alimentação e em função da pressão do ar e da rotação da bomba de alimentação ...	92
<b>Figura 23.</b>	Superfícies de resposta e curvas de contorno para a resposta perda de amido resistente em função da temperatura e da pressão do ar, da temperatura e da rotação da bomba de alimentação e em função da pressão do ar e da rotação da bomba de alimentação .....	93
<b>Figura 24.</b>	Diferenças de cor das amostras de farinha de banana verde obtidas por diferentes processos .....	99
<b>Figura 25.</b>	Bananas em rodela antes (a) e após (b) secagem em bandejas ...	99
<b>Figura 26.</b>	Curvas de viscosidade do RVA das amostras de farinha de banana verde obtidas pelos diferentes processos .....	101
<b>Figura 27.</b>	Difratograma de raio-X de FBV obtida por secagem em bandejas ..	103
<b>Figura 28.</b>	Difratograma de raio-X de FBV obtida por secagem em tambor rotativo .....	104
<b>Figura 29.</b>	Difratograma de raio-X de FBV obtida por atomização .....	104
<b>Figura 30.</b>	Difratograma de raio-X de FBV obtida por liofilização .....	104

<b>Figura 31.</b>	Difratograma de raio-X de amido de banana nativo e extrusado ....	105
<b>Figura 32.</b>	Micrografias obtidas em MEV de farinha de banana verde desidratada em secador de bandeja: 500X e 1.000X .....	106
<b>Figura 33.</b>	Micrografias obtidas em MEV de farinha de banana verde desidratada em tambor rotativo: 100X e 200X .....	106
<b>Figura 34.</b>	Micrografias obtidas em MEV de farinha de banana verde desidratada em <i>spray dryer</i> : 500X e 1.000X .....	107
<b>Figura 35.</b>	Micrografias obtidas em MEV de farinha de banana verde liofilizada:500X e 1.000X .....	107
<b>Figura 36.</b>	Características do grupo de consumidores quanto à faixa etária, classe social, tipos de pão de forma consumidos e frequência de consumo .....	110
<b>Figura 37.</b>	Pão padrão e com 10% e 20% de FBV .....	115
<b>Figura 38.</b>	Miolo do pão padrão e com 10% e 20% de FBV .....	116
<b>Figura 39.</b>	Dureza dos pães de forma padrão e com 10% e 20% de FBV ao longo do período de estocagem .....	118
<b>Figura 40.</b>	Barras de cereais padrão e com 10% e 20% de FBV .....	121
<b>Figura 41.</b>	Características do grupo de consumidores de barras de cereais quanto à faixa etária, classe social e frequência de consumo .....	121

## LISTA DE TABELAS

		Pg
<b>Tabela 1.</b>	Classificação e variedades de bananas, segundo Linneu e segundo Simmonds e Shepherd (1955) .....	6
<b>Tabela 2.</b>	Composição de bananas em diferentes estádios de maturação .....	12
<b>Tabela 3.</b>	Classificação nutricional do amido <i>in vitro</i> .....	20
<b>Tabela 4.</b>	Ensaio com valores codificados e reais para a determinação de agentes antioxidantes .....	43
<b>Tabela 5.</b>	Ensaio da secagem em tambor rotativo com valores codificados e reais .....	45
<b>Tabela 6.</b>	Ensaio da secagem por atomização com valores codificados e reais .....	47
<b>Tabela 7.</b>	Correspondência entre pressão do ar e velocidade de rotação do atomizador.....	48
<b>Tabela 8.</b>	Correspondência entre rotação da bomba e vazão de alimentação	48
<b>Tabela 9.</b>	Parâmetros definidos no programa Padrão 2 do RVA .....	51
<b>Tabela 10.</b>	Formulações de pão de forma empregadas no estudo .....	55
<b>Tabela 11.</b>	Formulações de barra de cereais empregadas no estudo .....	59
<b>Tabela 12.</b>	Composição centesimal das 3 variedades de banana no estágio verde (base seca) .....	63
<b>Tabela 13.</b>	Teor de amido resistente das 3 variedades de banana no estágio verde (base seca) .....	64
<b>Tabela 14.</b>	Firmeza e sólidos solúveis totais ( <sup>o</sup> Brix) das bananas nos dias 1, 4, 7 e 9 após a colheita .....	66
<b>Tabela 15.</b>	Tempos médios à temperatura acima de 70°C na região próxima à casca e temperaturas máximas atingidas nessa região e na região central dos frutos dos tratamentos térmicos em autoclave .....	67
<b>Tabela 16.</b>	Resultados das análises de cor das bananas imediatamente após o descascamento (tempo 0) e 1 e 3 horas após o tratamento com os agentes antioxidantes .....	73
<b>Tabela 17.</b>	Modelos de regressão com as variáveis codificadas e coeficientes de determinação (R <sup>2</sup> ) para as variáveis respostas que apresentaram modelos significativos e preditivos para a avaliação de agentes antioxidantes.....	74

<b>Tabela 18.</b>	Rendimentos, teores de umidade, atividade de água, parâmetros de cor, teores e perda de AR das amostras de farinha de banana verde obtidas em secador de tambor rotativo .....	78
<b>Tabela 19.</b>	Modelos de regressão com as variáveis codificadas e coeficientes de determinação ( $R^2$ ) para as variáveis respostas que apresentaram modelos significativos e preditivos para a secagem em tambor rotativo .....	80
<b>Tabela 20.</b>	Rendimentos, teores de umidade, atividade de água, parâmetros de cor, teores e perda de AR das amostras de farinha de banana verde obtidas por atomização .....	90
<b>Tabela 21.</b>	Modelos de regressão com as variáveis codificadas e coeficientes de determinação ( $R^2$ ) para as variáveis respostas que apresentaram modelos significativos e preditivos para a secagem por atomização .....	91
<b>Tabela 22.</b>	Composição centesimal, das farinhas de banana verde obtidas pelos diferentes processos (base seca) .....	94
<b>Tabela 23.</b>	Teor e perda de amido resistente (AR) das farinhas de banana verde obtidas pelos diferentes processos (base seca) .....	96
<b>Tabela 24.</b>	Atividade de água das farinhas de banana verde obtidas pelos diferentes processos .....	98
<b>Tabela 25.</b>	Parâmetros de cor CIELab das farinhas de banana verde obtidas pelos diferentes processos .....	99
<b>Tabela 26.</b>	Propriedades de pasta das farinhas de banana verde obtidas pelos diferentes processos .....	100
<b>Tabela 27.</b>	Tempos de molhamento e solubilidade das farinhas de banana verde preparadas por diferentes processos .....	102
<b>Tabela 28.</b>	Composição centesimal dos pães de forma padrão e com 10% e 20% de farinha de banana verde (base seca).....	108
<b>Tabela 29.</b>	Teor de amido resistente (AR) dos pães de forma padrão e com 10% e 20% de farinha de banana verde (base seca) .....	109
<b>Tabela 30.</b>	Resultados obtidos no teste para avaliação da aceitabilidade dos produtos de modo global e, em particular, da aparência, aroma, sabor, maciez e sabor residual e na avaliação da intenção de compra das amostras de pão de forma .....	112

<b>Tabela 31.</b>	Frequências de aceitação, indiferença e rejeição ao produto de modo global, aparência, aroma, sabor, maciez e sabor residual e frequências de intenção de compra positiva, indiferente e negativa das amostras de pão de forma avaliadas .....	113
<b>Tabela 32.</b>	Gostos descritos pelos consumidores em relação às amostras de pão de forma .....	113
<b>Tabela 33.</b>	Desgostos descritos pelos consumidores em relação às amostras de pão de forma .....	114
<b>Tabela 34.</b>	Volume específico dos pães de forma padrão, com 10% e 20% de farinha de banana verde .....	115
<b>Tabela 35.</b>	Parâmetros de cor CIELab dos miolos dos pães de forma padrão, com 10% e 20% de farinha de banana verde .....	116
<b>Tabela 36.</b>	Dureza dos pães de forma padrão e com 10% e 20% de FBV ao longo do período de estocagem .....	118
<b>Tabela 37.</b>	Composição centesimal das barras de cereais padrão e com 10% e 20% de farinha de banana verde (base seca).....	119
<b>Tabela 38.</b>	Teor de AR das barras de cereais padrão e com 10% e 20% de farinha de banana verde (base seca) .....	120
<b>Tabela 39.</b>	Atividade de água das barras de cereais padrão, com 10% e 20% de farinha de banana verde .....	120
<b>Tabela 40.</b>	Resultados obtidos no teste para avaliação da aceitabilidade dos produtos de modo global e, em particular, da aparência, aroma, sabor e textura e na avaliação da intenção de compra das amostras de barra de cereais .....	123
<b>Tabela 41.</b>	Frequências de aceitação, indiferença e rejeição aos atributos avaliados e frequências de intenção de compra positiva, indiferente e negativa das amostras de barra de cereais avaliadas .	124
<b>Tabela 42.</b>	Principais gostos descritos pelos consumidores em relação às amostras de barra de cereais .....	124
<b>Tabela 43.</b>	Principais desgostos descritos pelos consumidores em relação às amostras de barra de cereais .....	125
<b>Tabela 44.</b>	Dureza das barras de cereais padrão, com 10% e 20% de farinha de banana verde .....	125
<b>Tabela A4.1.</b>	Efeitos estimados para a resposta $L_0^* - L_1^*$ .....	144
<b>Tabela A4.2.</b>	ANOVA para $L_0^* - L_1^*$ .....	144

<b>Tabela A4.3.</b>	Efeitos estimados para a resposta $a_0^* - a_1^*$ .....	144
<b>Tabela A4.4.</b>	ANOVA para $a_0^* - a_1^*$ .....	145
<b>Tabela A4.5.</b>	Efeitos estimados para a resposta $b_0^* - b_1^*$ .....	145
<b>Tabela A4.6.</b>	ANOVA para $b_0^* - b_1^*$ .....	145
<b>Tabela A4.7.</b>	Efeitos estimados para a resposta $L_0^* - L_3^*$ .....	145
<b>Tabela A4.8.</b>	ANOVA para $L_0^* - L_3^*$ .....	146
<b>Tabela A4.9.</b>	Efeitos estimados para a resposta $a_0^* - a_3^*$ .....	146
<b>Tabela A4.10.</b>	ANOVA para $a_0^* - a_3^*$ .....	146
<b>Tabela A4.11.</b>	Efeitos estimados para a resposta $b_0^* - b_3^*$ .....	146
<b>Tabela A4.12.</b>	ANOVA para $b_0^* - b_3^*$ .....	147
<b>Tabela A5.1.</b>	Efeitos estimados para a resposta rendimento em farinha .....	148
<b>Tabela A5.2.</b>	ANOVA para rendimento em farinha .....	148
<b>Tabela A5.3.</b>	Efeitos estimados para a resposta umidade .....	148
<b>Tabela A5.4.</b>	ANOVA para umidade .....	149
<b>Tabela A5.5.</b>	Efeitos estimados para a resposta $A_w$ .....	149
<b>Tabela A5.6.</b>	ANOVA para $A_w$ .....	149
<b>Tabela A5.7.</b>	Efeitos estimados para a resposta $L^*$ .....	149
<b>Tabela A5.8.</b>	ANOVA para $L^*$ .....	150
<b>Tabela A5.9.</b>	Efeitos estimados para a resposta $a^*$ .....	150
<b>Tabela A5.10.</b>	ANOVA para $a^*$ .....	150
<b>Tabela A5.11.</b>	Efeitos estimados para a resposta $b^*$ .....	150
<b>Tabela A5.12.</b>	ANOVA para $b^*$ .....	151
<b>Tabela A5.13.</b>	Efeitos estimados para a resposta Perda AR .....	151
<b>Tabela A5.14.</b>	ANOVA para Perda AR .....	151
<b>Tabela A6.1.</b>	Efeitos estimados para a resposta rendimento em farinha .....	152
<b>Tabela A6.2.</b>	ANOVA para rendimento em farinha .....	152
<b>Tabela A6.3.</b>	Efeitos estimados para a resposta umidade .....	152
<b>Tabela A6.4.</b>	ANOVA para umidade .....	153
<b>Tabela A6.5.</b>	Efeitos estimados para a resposta $A_w$ .....	153
<b>Tabela A6.6.</b>	ANOVA para $A_w$ .....	153

<b>Tabela A6.7.</b>	Efeitos estimados para a resposta $L^*$ .....	153
<b>Tabela A6.8.</b>	ANOVA para $L^*$ .....	154
<b>Tabela A6.9.</b>	Efeitos estimados para a resposta $a^*$ .....	154
<b>Tabela A6.10.</b>	ANOVA para $a^*$ .....	154
<b>Tabela A6.11.</b>	Efeitos estimados para a resposta $b^*$ .....	154
<b>Tabela A6.12.</b>	Efeitos estimados para a resposta Perda AR .....	155
<b>Tabela A6.13.</b>	ANOVA para Perda AR .....	155

## SUMÁRIO

	<b>Pg</b>
RESUMO .....	ix
ABSTRACT .....	xi
LISTA DE FIGURAS .....	xiii
LISTA DE TABELAS .....	xvi
1. INTRODUÇÃO .....	1
1.1 Objetivos .....	3
1.1.1 Objetivo geral .....	3
1.1.2 Objetivos específicos .....	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1 A banana .....	4
2.1.1 A cultura da banana no Brasil .....	4
2.1.2 Classificação botânica das bananas.....	5
2.1.3 Fisiologia do amadurecimento das bananas .....	7
2.1.4 Escurecimento enzimático e sua prevenção .....	12
2.2 Fibra alimentar e amido resistente .....	17
2.2.1 Os efeitos fisiológicos do amido resistente .....	21
2.3 O amido da banana verde .....	23
2.4 Farinha de banana verde e processos de secagem para sua obtenção	28
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	38
3.1 A banana como matéria-prima .....	38
3.1.1 Caracterização de três variedades de banana para definição da matéria-prima a ser empregada no estudo ....	38
3.1.1.1 Composição centesimal .....	38
3.1.1.2 Teor de amido resistente .....	39
3.1.2 Avaliação do teor de amido resistente ao longo do tempo ...	39

3.1.3 Avaliação da firmeza e dos sólidos solúveis ao longo do tempo .....	39
3.2 Definição das etapas prévias à secagem da banana verde .....	40
3.2.1 Descascamento das bananas .....	40
3.2.2 Determinação das concentrações de agentes antioxidantes utilizados para a inativação enzimática .....	41
3.3 Avaliação do efeito das condições de secagem da banana verde nas características das farinhas obtidas .....	43
3.3.1 Secagem em tambor rotativo .....	43
3.3.2 Secagem por atomização .....	46
3.4 Preparo das farinhas de banana verde por secagem em bandejas e liofilização .....	48
3.4.1 Secagem em bandejas .....	48
3.4.2 Liofilização .....	49
3.5 Caracterização das farinhas de banana verde obtidas por diferentes processos .....	49
3.5.1 Composição centesimal e teor de amido resistente .....	49
3.5.2 Atividade de água .....	50
3.5.3 Cor CIELab .....	50
3.5.4 Propriedades de pasta .....	50
3.5.5 Propriedades de molhabilidade e solubilidade .....	52
3.5.6 Padrão de cristalinidade .....	54
3.5.7 Características morfológicas .....	54
3.6 Avaliação da aplicação de farinha de banana verde em pão de forma e barra de cereais .....	54
3.6.1 Pão de forma .....	55
3.6.2 Barras de cereais .....	58
3.7 Análise estatística .....	62

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	63
4.1 A banana verde como matéria-prima .....	63
4.1.1 Caracterização de três variedades de banana no estágio verde e definição da matéria-prima a ser empregada no estudo .....	63
4.1.1.1 Composição centesimal .....	63
4.1.1.2 Teor de amido resistente .....	64
4.1.2 Avaliação do teor de amido resistente ao longo do tempo ...	64
4.1.3 Avaliação da firmeza e dos sólidos solúveis ao longo do tempo .....	65
4.2 Definição das etapas prévias à secagem da banana verde .....	66
4.2.1 Descascamento das bananas .....	66
4.2.2 Inativação enzimática: Determinação das concentrações de agentes antioxidantes .....	70
4.3 Avaliação do efeito das condições de secagem da banana verde nas características das farinhas obtidas .....	77
4.3.1 Secagem em tambor rotativo .....	77
4.3.2 Secagem por atomização .....	87
4.4 Caracterização das farinhas de banana verde obtidas por diferentes processos .....	94
4.4.1 Composição centesimal .....	94
4.4.2 Teor de amido resistente .....	96
4.4.2.1 Avaliação da biomassa de banana verde quanto à perda de amido resistente e sua comparação com os processos de secagem .....	97
4.4.3. Atividade de água .....	98
4.4.4. Cor CIELab .....	98
4.4.5. Propriedades de pasta .....	100

4.4.6. Propriedades de molhabilidade e solubilidade .....	101
4.4.7. Padrão de cristalinidade .....	102
4.4.8. Características morfológicas .....	105
4.4.9 Considerações finais sobre a avaliação dos processos de secagem .....	107
4.5 Avaliação da aplicação da FBV em pão de forma .....	108
4.5.1 Composição centesimal dos pães de forma com FBV .....	108
4.5.2 Teor de amido resistente .....	109
4.5.3 Análise sensorial .....	110
4.5.3.1 Caracterização do grupo de consumidores .....	110
4.5.3.2 Teste de aceitabilidade e intenção de compra.....	111
4.5.4 Volume específico .....	114
4.5.5 Cor .....	116
4.5.6 Dureza .....	117
4.6 Avaliação da aplicação da FBV em barras de cereais .....	119
4.6.1 Composição centesimal das barras de cereais com FBV ....	119
4.6.2 Teor de amido resistente .....	119
4.6.3 Atividade de água .....	120
4.6.4. Análise sensorial .....	120
4.6.4.1 Caracterização do grupo de consumidores .....	121
4.6.4.2 Teste de aceitabilidade e intenção de compra .....	122
4.6.5 Dureza .....	125
5. CONCLUSÕES .....	126
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	128
APÊNDICE 1 - Termo de consentimento livre e esclarecido .....	141
APÊNDICE 2 – Ficha de avaliação sensorial de pão de forma .....	142
APÊNDICE 3 – Ficha de avaliação sensorial de barra de cereais .....	143

APÊNDICE 4 - Análise estatística dos dados do planejamento experimental para determinação das concentrações de agentes antioxidantes utilizados para a inativação enzimática .....	144
APÊNDICE 5 - Análise estatística do planejamento experimental para determinação do efeito da secagem em tambor rotativo nas características das farinhas obtidas .....	148
APÊNDICE 6 - Análise estatística do planejamento experimental para determinação do efeito da secagem por atomização nas características das farinhas obtidas .....	152
ANEXO – Parecer do Comitê de ética em Pesquisa sobre o projeto .....	156



## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos maiores produtores mundiais de banana, sendo que a bananicultura é a 9ª cultura mais importante do país, ocupando o segundo lugar em volume de frutas produzidas. A produção nacional é de aproximadamente 7 milhões de toneladas por ano, dos quais menos de 3% são exportados (FAO, 2009). Do total produzido no país, aproximadamente 40% são perdidos somente na fase pós-colheita. A principal causa dessa perda é a falta de cuidados na comercialização, incluindo desde a falta de embalagens até a má conservação das estradas, além de problemas na cadeia do frio (EMBRAPA, 2008). Portanto, apesar de ser um grande produtor mundial do fruto, o Brasil apresenta um índice de desperdício bastante elevado.

Quando verde, a polpa de banana não apresenta sabor. Trata-se de uma massa com alto teor de amido e baixo teor de açúcares e compostos aromáticos. Kayisu e Hood (1981) mostraram que a banana verde apresenta amido resistente (AR), definido como a soma do amido e de produtos de degradação do amido que resistem à digestão no intestino delgado de indivíduos saudáveis (ASP, 1992), podendo, no entanto, ser fermentado no intestino grosso pela microflora presente (ENGLYST; MACFARLANE, 1986; GEE; JOHNSON; LUND, 1992) e, portanto, apresentando comportamento similar ao da fibra alimentar.

De acordo com Nugent (2005), os efeitos fisiológicos do AR são parcialmente comparáveis aos da fibra alimentar. Ao chegar ao cólon, o amido, que ainda não foi digerido, é utilizado como substrato de fermentação pelas bactérias anaeróbicas para a produção de ácidos graxos de cadeia curta (AGCC). Estudos *in vitro* e estudos com animais indicam que o propionato e o butirato, principalmente, têm potencial para ajudar a manter a saúde do intestino e reduzir fatores de risco envolvidos no desenvolvimento de inflamação intestinal, colite ulcerativa e câncer colorretal. Em relação às fibras solúveis, que são rapidamente fermentadas pelas bactérias do intestino grosso para a produção de AGCC, o AR apresenta o benefício de não causar desconforto gastrointestinal, uma vez que é fermentado lentamente e, desta forma, não propicia a produção de gases.

A lenta digestão do AR também pode melhorar a resposta glicêmica e insulinêmica com efeito importante no controle da síndrome metabólica, responsável por alguns dos maiores problemas de saúde atualmente: obesidade, doenças cardiovasculares e diabetes (VAN DOKKUM, 2008).

Embora menos eficaz do que as fibras nesse aspecto (VAN DOKKUM, 2008), o AR também tem sido associado a reduções nos níveis de triglicérides e das lipoproteínas de baixa densidade, conhecidas como colesterol LDL (JENKINS; VUKSAN; KENDALL, 1998).

Com a criação do projeto “Pró Banana Verde” e a edição do livro “Yes, nós temos bananas” de Valle e Camargos (2003), a culinária Heloísa de Freitas Valle buscou divulgar a utilização da banana verde no preparo de diferentes pratos, com o objetivo de enriquecê-los sem causar alteração no sabor e no odor. O preparo da “biomassa de banana verde”, assim chamada pelas autoras, consiste na obtenção dos frutos verdes, retirada dos cachos, lavagem, cozimento por imersão sob pressão, descascamento e obtenção da massa por trituração da polpa. Apesar de o processo proposto ser tecnicamente simples, a utilização da massa de banana em produções industriais de médio e grande porte torna-se inviável. Sua aplicação deve ser feita a quente devido à elevada consistência do produto frio e à consequente dificuldade de homogeneização com os demais ingredientes das diferentes formulações nas quais pode ser empregada.

Diversos autores estudaram a obtenção de farinha de banana verde (FBV) por diferentes processos, porém, somente *Tribess et al.* (2009) avaliaram o efeito da secagem (somente em secador de bandejas) no teor de AR. A aplicação da FBV em produtos alimentícios variados também foi avaliada por diversos autores, entretanto, sem enfoque na preservação do AR.

Economicamente, a viabilidade técnica da produção de farinha de banana verde e seu emprego como ingrediente de produtos alimentícios poderão contribuir para a redução do elevado índice de perda de bananas que ocorre no Brasil, principalmente pelo fato da obtenção da farinha poder ser feita próxima às fontes de produção.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo geral**

Esta pesquisa teve como objetivo avaliar o processo mais adequado para obtenção de farinha de banana verde que preservasse o teor de amido resistente da matéria-prima, possibilitando a inclusão dos benefícios nutricionais e funcionais da farinha de banana verde em diferentes produtos alimentícios.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

Os objetivos específicos desta pesquisa foram:

- Caracterização de três variedades de banana para definição da matéria-prima a ser empregada no estudo;
- Definição da técnica adequada para a retirada das cascas das bananas;
- Determinação das concentrações mais adequadas dos agentes antioxidantes (ácido ascórbico, ácido cítrico e metabissulfito de sódio) para a inativação enzimática;
- Avaliação do efeito das condições operacionais de secagem da banana verde em tambor rotativo sobre as propriedades das farinhas obtidas, principalmente no teor de AR, utilizando-se delineamento composto central rotacional;
- Avaliação do efeito das condições operacionais de secagem da banana verde por atomização nas propriedades das farinhas obtidas, principalmente no teor de AR, utilizando-se delineamento composto central rotacional;
- Comparação das farinhas obtidas nas melhores condições de secagem em tambor rotativo e por atomização com as farinhas obtidas por secagem em bandejas e por liofilização, quanto às características químicas e físicas;
- Aplicação da FBV em formulações de pão de forma e barras de cereais e comparação dos produtos obtidos com os convencionais (sem FBV) em relação às características químicas, físicas e sensoriais.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

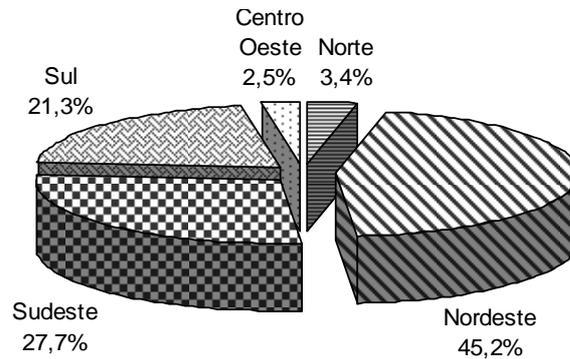
### **2. 1 A banana**

#### **2.1.1 A cultura da banana no Brasil**

De acordo com a FAO (2009), com uma produção anual de 7,1 milhões de toneladas em 2007, o Brasil é o 4º maior produtor de bananas, atrás da Índia (21,8 milhões de toneladas), China (8,00 milhões de toneladas) e Filipinas (7,5 milhões de toneladas). A bananicultura é a 9ª cultura mais importante do país, ocupando o segundo lugar em volume de frutas produzidas e perdendo apenas para as laranjas (18,7 milhões de toneladas).

A produção brasileira de banana está distribuída pelas 27 unidades da Federação, incluindo o Distrito Federal. Os Estados de São Paulo, Santa Catarina, Bahia, Ceará e Pernambuco são os mais representativos, tanto em área colhida quanto em quantidade produzida, sendo que mais de 95% da produção é destinada ao mercado interno (EMBRAPA, 2008). Segundo a FAO (2009), no ano de 2006, apenas 185 mil toneladas de bananas foram exportadas, o que corresponde a menos de 3% do total produzido naquele ano. Apesar da expansão dos grandes cultivos comerciais, a bananeira é produzida principalmente por pequenos e médios produtores, com uso intensivo da mão de obra familiar (EMBRAPA, 2008).

Na Figura 1 é apresentada a distribuição da produção de bananas por região do Brasil no ano de 2006, a partir de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2009).



**Figura 1.** Distribuição da produção de bananas por região do Brasil em 2006. Fonte: IBGE, 2009.

As variedades mais difundidas no Brasil são: Prata, Pacovan, Prata Anã, Maçã, Mysore, Terra e D'Angola, utilizadas unicamente para o mercado interno e Nanica, Nanicão e Grand Naine, usadas principalmente para exportação (EMBRAPA, 2005). Para a FIPE (2004), tanto em termos de industrialização como de exportação do produto *in natura*, a banana da variedade Nanicão é a que apresenta melhores características de forma, tamanho, aroma e sabor, podendo facilmente competir com a banana produzida em outros países de clima tropical, tradicionalmente exportadores.

Do total de bananas produzidas no país, aproximadamente 40% são perdidos somente na fase pós-colheita. As principais causas são: o manuseio excessivo e o uso de embalagens não adequadas, como as caixas de madeira que, além de causar sérios problemas de contaminação dos frutos, são pouco econômicas. O transporte dos frutos também é inadequado. O uso de caminhões com sistema de refrigeração no transporte de banana ainda é muito pequeno, assim como o uso de refrigeração nos supermercados, segmento mais exigente em qualidade de fruto (EMBRAPA, 2008).

### 2.1.2 Classificação botânica das bananas

De acordo com a nomenclatura criada por Linneu em 1735 (MINHOTO, 2006), as bananas pertencem à classe *Monocotyledoneae*, ordem *Scimitales*,

família *Musaceae* e subfamília *Musoideae*, que possui dois gêneros: o gênero *Musa*, com o maior número de espécies e onde se encontram os frutos comestíveis e de interesse tecnológico e o gênero *Ensete* com frutos ornamentais. As variedades do gênero *Musa* apresentam cerca de 30 espécies com frutos de polpa abundante e desprovidos de sementes (CRUZ, 1995; ORTIZ, 1995).

Atualmente, o sistema de classificação adotado para as bananeiras de frutos comestíveis baseia-se no trabalho de Simmonds e Shepherd (1955), que utilizaram um método de notas para indicar as contribuições relativas de duas espécies selvagens (*M. acuminata* e *M. balbisiana*) na constituição genética de uma determinada cultivar (VILAS BOAS *et al.*, 2001). Da combinação desses genomas resultam os grupos AA, BB, AB, AAA, AAB, ABB, AAAA, AAAB, AABB, ABBB, diplóides, triplóides ou tetraplóides (DANTAS; SOARES FILHO, 1997). Na Tabela 1, é apresentada a classificação histórica de Linneu e a classificação de Simmonds e Shepherd (1955) para as principais variedades de banana comercializadas.

**Tabela 1.** Classificação e variedades de bananas, segundo Linneu e segundo Simmonds e Shepherd (1955).

CLASSIFICAÇÃO	VARIEDADES
<b>Segundo Linneu</b>	
<i>Musa cavendish</i>	Nanica (banana d'água), Nanicão, Grand Naine, Baé, Anã, Caturra, China, Cambota, Williams, dentre outras.
<i>Musa sapientum</i>	Marmelo, Ouro, Prata, Maçã, Branca, Caru-roxa, Caru-verde, São Tomé, Figo, Santa Maria, dentre outras.
<i>Musa paradísíaca</i>	Da terra, Farta-velhaco, Pacová, Comprida ou Chifre de boi, dentre outras.
<b>Segundo Simmonds e Shepherd (1955)</b>	
Grupo diplóide Acuminata AA	Banana ouro
Grupo triplóide Acuminata AAA	Nanica, Nanicão, Gros-michel, Caru-roxa, Caru-verde
Grupo triplóide Híbrido natural AAB	Terra, Maçã, Pacova, Prata
Grupo triplóide Híbrido natural ABB	Marmelo

Fonte: Borges, 2003.

### 2.1.3 Fisiologia do amadurecimento das bananas

A banana é uma fruta de padrão respiratório climatérico, caracterizado pelo aumento da taxa respiratória e da produção do etileno durante o climatério, podendo então ser colhida antes do completo amadurecimento. É na fase do climatério que se iniciam as principais alterações sensoriais da fruta, tais como pigmentação amarela da casca, amaciamento da polpa e alterações de sabor e aroma, que se tornam característicos da fruta madura (MEDINA; PEREIRA, 2004). Segundo Bleinroth (1995), praticamente toda transformação na aparência, textura e composição química da banana durante o amadurecimento se deve, direta ou indiretamente, à ação de determinadas enzimas.

As principais características das bananas que sofrem transformações durante o amadurecimento são:

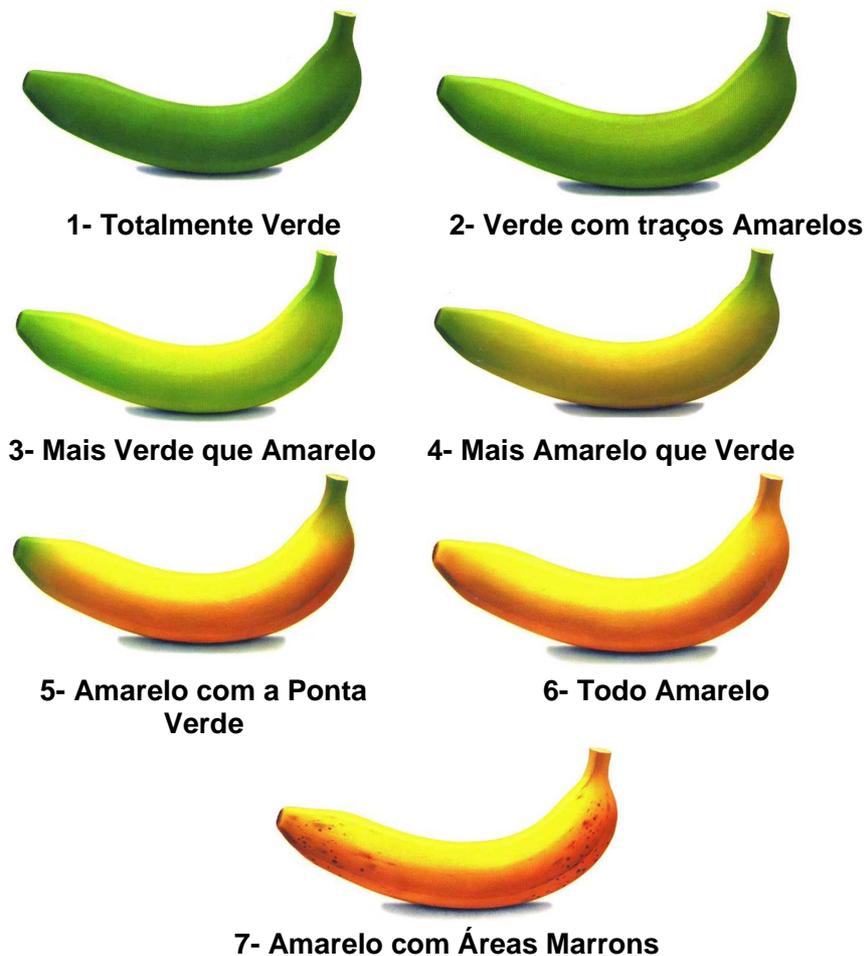
**(i) Relação polpa/casca** – Durante a maturação da banana, o peso da polpa aumenta continuamente devido à absorção da água da casca e até mesmo do engaço (suporte que sustenta o cacho de bananas). Com isso, a casca perde peso. A relação polpa/casca pode ser considerada como índice de maturação da banana, também conhecido como coeficiente de maturação. A alteração deste índice é bastante rápida: enquanto na banana verde é de 1,3 a 1,4, na madura pode chegar a 2,0 (BLEINROTH, 1995).

**(ii) Coloração** – A casca da banana apresenta coloração que vai do verde ao amarelo na fase de maturação devido à presença de clorofila, xantofila e caroteno. Dois outros pigmentos são encontrados no protoplasma da célula: os flavonóides e as antocianinas. A quantidade de clorofila encontrada na fruta verde é de 52 a 103 mg/kg de casca. O teor de xantofila tem demonstrado ser maior que o de caroteno, estando entre 5 a 7 mg/kg de casca, enquanto que o caroteno é encontrado na proporção de 1,5 a 3,5 mg/kg. No decorrer da maturação, a clorofila é gradualmente destruída pela ação enzimática e o caroteno e a xantofila tornam-se cada vez mais evidentes (BLEINROTH, 1995).

A cor da casca é um bom indicativo do grau de amadurecimento da banana (MEDINA; PEREIRA, 2004). Na Figura 2, é mostrada a Escala de Maturação de Von Loesecke (1950), utilizada para a classificação das bananas pela cor.

**(iii) Textura** – A polpa de banana é composta por um grande número de pequenas células. Na banana verde, cada uma dessas células possui uma rígida membrana composta principalmente de substâncias insolúveis, conhecidas como protopectina, em cujo interior encontram-se numerosos grânulos sólidos de amido. O amaciamento verificado ao longo do amadurecimento da fruta é um reflexo da degradação coordenada de amido e compostos da parede celular, notadamente substâncias pécticas e hemiceluloses e do aumento de umidade da polpa em razão de trocas osmóticas com a casca (VILAS BOAS *et al.*, 2001).

A solubilização de substâncias pécticas é mediada pela ação da enzima poligalacturonase, responsável pela hidrólise de ligações glicosídicas na protopectina. A ação dessa enzima é precedida pela ação da pectinametilesterase, enzima que catalisa a desmetilação dos ésteres metílicos dos ácidos poligalacturônicos. Outras enzimas da parede celular também atuam coordenadamente no amaciamento da banana (VILAS BOAS *et al.*, 2001). Segundo Menezes e Draetta (1980), na polpa da banana, a protopectina insolúvel sofre um decréscimo de 0,3 - 0,5% do peso e a pectina solúvel mostra um aumento correspondente. O teor de celulose (2 - 3% do peso) e de hemicelulose (8 - 10% do peso), na polpa da banana verde, também diminuem com o amadurecimento.



**Figura 2.** Escala de Maturação de Von Loesecke.  
Fonte: Adaptado de PBMH & PIF, 2006.

**(iv) Teor de umidade** – Durante a maturação, a umidade da polpa aumenta ligeiramente, devido às transformações que os carboidratos sofrem, e é utilizada na hidrólise do amido. Em geral, a polpa da banana verde apresenta um teor de umidade de 70%, em média. Esse valor é elevado para 75% quando a fruta está completamente madura (BLEINROTH, 1995).

**(v) Sólidos totais e solúveis** – Os sólidos totais da banana apresentam uma pequena redução à medida que a fruta amadurece, o que é atribuído à absorção de água pela polpa. No entanto, os sólidos solúveis aumentam rapidamente com a maturação da fruta, em decorrência da degradação do amido (BLEINROTH, 1995).

**(vi) Carboidratos** – A alteração mais perceptível em relação à maturação da banana, que ocorre na polpa, é a transformação do amido em açúcares. A banana verde contém um alto teor de amido, em torno de 20%, que, durante a maturação, é convertido pelas enzimas amilolíticas em açúcares. Há predominância de glicose e frutose (de 8 a 10% da polpa) e da sacarose (de 10 a 12%), além de outros açúcares presentes em menores quantidades (BLEINROTH, 1995).

**(vii) Acidez** – A banana caracteriza-se por apresentar uma baixa acidez quando verde que aumenta com o amadurecimento até atingir um máximo, quando a casca está totalmente amarela, para em seguida decrescer. Considera-se que na banana verde o ácido oxálico predomina sobre os ácidos málico e cítrico, porém, este ácido diminui com o amadurecimento, dando lugar ao ácido málico, como o mais importante (BLEINROTH, 1995). Para esses autores, o pH da fruta verde varia de 5,0 a 5,6 e na banana madura de 4,2 a 4,7. Dentro desses limites podem ocorrer variações nas diferentes variedades de banana.

**(viii) Sais minerais** – A banana é rica em sais minerais, destacando-se o potássio, o fósforo, o cálcio, o sódio e o magnésio. Em menores quantidades, encontram-se o ferro, o manganês, o iodo, o cobre, o alumínio e o zinco. Os sais minerais apresentam pequena variação com o amadurecimento da fruta, sendo sempre um pouco maior nas bananas verdes que nas maduras (BLEINROTH, 1995).

**(ix) Vitaminas** – A vitamina C atinge seu máximo teor (0,15 a 0,20 mg/100g de matéria seca) na primeira fase de maturação, isto é, na coloração verde-amarelada, decrescendo rapidamente à medida que vai surgindo a cor amarelada (0,10 a 0,11 mg) e atinge a proporção mais baixa quando a fruta apresenta manchas marrons na casca. Com a vitamina A ocorre o inverso, ou seja, há o aumento do seu teor durante a maturação de 160 – 200 U.I. para 450 – 500 U.I. em 100 g de matéria seca (BLEINROTH, 1995). Borges (2003) encontrou a mesma tendência de diminuição da vitamina C e aumento do  $\beta$ -caroteno (pró-vitamina A). Esse autor verificou também o aumento da vitamina B<sub>1</sub> e a diminuição da B<sub>6</sub> durante o amadurecimento da banana.

**(x) Adstringência** – A polpa da fruta verde é rica em compostos fenólicos solúveis, principalmente taninos, que, por meio de ligações cruzadas com as proteínas do interior da boca, causam a sensação de adstringência. À medida que a fruta amadurece, ocorre a polimerização desses compostos fenólicos, com a conseqüente diminuição na sensação de adstringência, ao mesmo tempo em que ocorre o aumento na doçura e na acidez (MENEZES; DRAETTA, 1980; VILAS BOAS *et al.*, 2001). Bleinroth (1995) relata que, em algumas cultivares, tais como a Prata, os compostos fenólicos chegam a quase desaparecer quando a fruta está muito madura.

Lii, Chang e Young (1982), ao investigarem as mudanças que ocorrem durante o amadurecimento de bananas, encontraram diminuição do teor de amido e aumento dos teores de açúcares redutores e de sacarose à medida que a maturação evoluiu do estágio 1 ao 9 (conforme a cor da casca), como mostrado na Tabela 2. Os autores verificaram também que houve um pequeno aumento na temperatura de gelatinização do amido, à medida que a maturação evoluiu. Ao compararem a composição centesimal de bananas da variedade Taiwan nos estádios verde e madura, Lii, Chang e Young (1982) encontraram aumento nos teores de proteína e de cinzas e redução nos teores de lipídios e de fibra bruta com o amadurecimento.

Ditchfield e Tadini (2002) avaliaram bananas da variedade Nanicao em 8 diferentes estádios pelos seguintes parâmetros: pH, sólidos solúveis (°Brix), firmeza em texturômetro TA-XT2i e acidez titulável expressa em porcentagem de ácido málico. Por análises estatísticas, os autores concluíram que o melhor parâmetro para determinar o estágio de maturação da banana foi a firmeza que caiu muito rapidamente do estágio 1 para o 2 (25,66 N para 13,75 N) e deste para o estágio 3 (5,3 N), mantendo a tendência de queda até atingir valor de 0,8 N no estágio 8. A relação °Brix/acidez também forneceu um bom parâmetro para o estágio de maturação, enquanto que o pH e a acidez titulável não foram considerados adequados pois apresentaram valores semelhantes nos estádios iniciais e finais de maturação. Os sólidos solúveis se mantiveram praticamente constantes após o estágio 3 de maturação.

**TABELA 2.** Composição de bananas em diferentes estágios de maturação.

Estádio	Cor da casca	Amido (%)	Aç. redutores (%)	Sacarose (%)	T gelatinização (°C)
1	Totalmente verde	61,7	0,2	1,2	74-81
2	Verde	58,6	1,3	6,0	75-80
3	Verde com traços amarelos	42,4	10,8	18,4	77-81
4	Mais verde que amarelo	39,8	11,5	21,4	75-78
5	Mais amarelo que verde	37,6	12,4	27,9	76-81
6	Amarelo com as pontas verdes	9,7	15,0	53,1	76-80
7	Todo amarelo	6,3	31,2	51,9	76-83
8	Amarelo com traços marrons	3,3	33,8	52,0	79-83
9	Amarelo com muitos traços marrons	2,6	33,6	53,2	-

Fonte: Lii; Chang; Young, 1982.

#### 2.1.4 Escurecimento enzimático e sua prevenção

O escurecimento enzimático é uma das reações mais importantes que afetam frutas, vegetais e frutos do mar, acarretando mudança na coloração. Embora seja uma reação benéfica para alguns produtos (como o café, por exemplo), na maioria dos casos, traz grandes perdas econômicas. Estima-se que mais de 50% das perdas de frutas seja consequência desta reação (WHITAKER; LEE, 1995).

O escurecimento enzimático é resultado da ação da enzima polifenoloxidase (PFO) sobre compostos fenólicos normalmente presentes em determinados vegetais. Nas células vegetais intactas, o escurecimento não ocorre, uma vez que os compostos fenólicos presentes nos vacúolos das células estão fisicamente separados da PFO presente no citoplasma. No entanto, quando o tecido é danificado, seja pelo corte, fatiamento ou preparo de polpa, a PFO, em contato com o substrato, catalisa a oxidação de fenóis a orto-quinonas, compostos altamente reativos que sofrem polimerização, produzindo compostos de peso molecular elevado, os pigmentos marrons, denominados melanoidinas. Essas

melanoidinas podem reagir com aminoácidos e proteínas, intensificando a coloração marrom produzida. A velocidade da reação é determinada pelo teor de compostos fenólicos e de PFO ativa nos tecidos, pelo pH, temperatura e disponibilidade de oxigênio (MARSHALL; KIM; WEI, 2000).

De acordo com Marshall, Kim e Wei (2000), muitos estudos já foram feitos visando o desenvolvimento de técnicas e mecanismos capazes de inibir ou prevenir a atividade da PFO em alimentos pela eliminação de um ou mais dos componentes essenciais da reação: o oxigênio, a enzima propriamente dita, o cobre do grupo prostético da PFO ou mesmo o substrato, conforme descrito a seguir:

- (i) A eliminação de oxigênio da superfície cortada de frutas e vegetais retarda bastante a reação de escurecimento, que voltará a ocorrer se a superfície for exposta ao oxigênio. A exclusão de oxigênio é possível pela imersão em água, calda ou pela embalagem a vácuo.
- (ii) Para que a reação de escurecimento enzimático ocorra, é necessário que o cobre do grupo prostético da PFO esteja presente. Agentes quelantes, como por exemplo, o EDTA, são efetivos na remoção do íon  $\text{Cu}^{+2}$  do sítio ativo da enzima inativando-a.
- (iii) A inativação da PFO por tratamentos térmicos como o branqueamento é bastante eficaz no caso de frutas e vegetais que serão enlatados ou congelados, embora não tenha aplicação na estocagem de produtos frescos.
- (iv) A modificação química dos substratos fenólicos catalisados pela PFO também pode prevenir a reação.
- (v) Os agentes antioxidantes previnem o escurecimento enzimático por dois mecanismos: pela redução das o-quinonas a difenóis, compostos incolores ou pela reação irreversível com as o-quinonas, formando compostos estáveis que também não apresentam coloração.

Dentre os agentes inibidores de escurecimento enzimático, os sulfitos são os mais utilizados. Incluem o monóxido de enxofre e outras formas inorgânicas de

sulfitos que, sob determinadas condições, liberam dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) que atua reduzindo as ortoquinonas a difenóis (MARSHALL; KIM; WEI, 2000).

Danyen, Boodia e Ruggoo (2009) citam que, embora os sulfitos sejam muito efetivos no controle do escurecimento, podem causar efeitos adversos à saúde de indivíduos asmáticos que apresentam hipersensibilidade a esses compostos. De acordo com o FDA (2009), o sulfito, o bissulfito, o metabissulfito de sódio e o dióxido de enxofre são substâncias GRAS (*generally recognized as safe*) quando utilizadas de acordo com as Boas Práticas de Fabricação, exceto para carnes, para os alimentos reconhecidos como fonte de vitamina B<sub>1</sub> e para as frutas e vegetais a serem consumidos na forma crua. Pela legislação brasileira, o limite máximo permitido para os mesmos compostos em frutas desidratadas é de 0,01 g/100g como SO<sub>2</sub> (BRASIL, 1988).

Sapers e Miller (1998) citam que o ácido ascórbico previne o escurecimento enzimático pelo sequestro do cobre, grupo prostético da polifenoloxidase, e da redução das quinonas de volta a fenóis, antes que pigmentos escuros sejam formados.

Visando a prevenção do escurecimento de frutas e vegetais, o ácido cítrico é um dos acidulantes mais usados na indústria de alimentos em níveis que variam de 0,5 a 2,0%. É também comumente empregado em conjunto com outros compostos que previnem o escurecimento, tais como os ácidos ascórbico e eritórbico e seus sais para a quelação de pró-oxidantes e inativação da PFO. As dosagens recomendadas de ácido cítrico variam de 0,1 a 0,3% quando em conjunto com 100 a 200 mg/kg de outro antioxidante. O ácido cítrico exerce seu efeito inibitório na PFO tanto pelo abaixamento do pH como pela quelação do cobre presente no sítio ativo da enzima (MARSHALL; KIM; WEI, 2000).

Tanto o ácido ascórbico como o ácido cítrico são aditivos utilizados segundo as boas práticas de fabricação, ou seja, não têm limite máximo de utilização estabelecido, podendo ser empregados nas quantidades suficientes para a obtenção do efeito desejado (BRASIL, 1999).

Folegatti e Matsuura (2004) citam que o principal problema tecnológico no processamento da banana está relacionado ao escurecimento, que pode ser

evitado por meio de tratamento com antioxidantes, tais como o metabissulfito de sódio e os ácidos ascórbico e cítrico, sem, contudo, citar as dosagens recomendadas.

Tribess *et al.* (2006) estudaram o efeito do pré-tratamento químico da banana verde, na cor ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) da farinha obtida, comparando-a com a farinha de trigo. Para tal, utilizaram soluções de ácido ascórbico (AA), ácido cítrico (AC) e bissulfito de sódio (BS) por meio de um planejamento experimental em dois níveis (0 e 1%). A utilização do BS apresentou a maior influência sobre a luminosidade do produto ( $L^*$ ). O melhor resultado foi obtido por meio da combinação de BS e AC, que deu origem à farinha com  $L^* = 83,7$ , considerado pelos autores como próximo ao da farinha de trigo ( $L^* = 91,5$ ). A combinação de AA e AC apresentou o maior valor de  $a^*$  (7,6), efeito decorrente da geração da coloração avermelhada pela conversão das antocianinas.

Melo e Vilas Boas (2006), avaliando o efeito do AA, do cloreto de cálcio (CC), do cloridrato de L-cisteína (Cis) e do EDTA na prevenção do escurecimento enzimático de banana maçã minimamente processada, concluíram que, dentre os tratamentos estudados, o mais efetivo na prevenção das modificações dos valores  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  (cor CIELab) foi: 1% AA + 1% CC + 1,5% Cis. O cloreto de cálcio tem sido aplicado efetivamente na prevenção do amaciamento de frutas minimamente processadas, embora possa contribuir, em conjunto com agentes antioxidantes, para a prevenção do escurecimento.

O EDTA é um agente quelante que forma complexos muito estáveis pelo sequestro de cobre, ferro e cálcio. Marshall, Kim e Wei (2000) citam que uma combinação típica de agentes anti-escurecimento consiste em um redutor (ácido ascórbico), um acidulante (ácido cítrico) e um quelante (EDTA).

Segundo Marshall, Kim e Wei (2000), existem registros de que a cisteína seja mais eficaz que o bissulfito de sódio como agente anti-escurecimento, porém em concentrações que afetam negativamente o sabor. Seu mecanismo de ação está relacionado à redução de o-quinonas a compostos fenólicos e à formação de compostos conjugados tiol-ortoquinonas que são incolores. Entretanto, de acordo

com Richard-Forget, Goupy e Nicolas (1992), a aplicação de cisteína pode levar à formação indesejável de pigmentos amarelos, violetas ou róseos.

Danyen, Boodia e Ruggoo (2009) estudaram o uso combinado de ácido ascórbico e cloreto de cálcio visando minimizar o escurecimento de fatias de banana verde recém-cortadas e verificaram o efeito da interação entre AA e CC. Embora o efeito de AA tenha sido mais importante para a inibição do escurecimento das fatias de bananas, os autores relatam que a combinação de 2% de AA com 2% de CC minimizaram significativamente o escurecimento das bananas verdes sem casca quando embaladas sob vácuo parcial, conferindo uma vida útil de 12 dias a 10°C.

Como atualmente existe uma preocupação com respeito aos possíveis danos causados pelos aditivos sintéticos, Chaisakdanugull, Theerakulkait e Wrolstad (2007) estudaram a eficácia do suco de abacaxi na inibição do escurecimento enzimático de fatias de bananas e, pelo fracionamento do suco, procuraram identificar a fração mais eficaz na inativação da PFO. Os autores concluíram que o suco de abacaxi foi tão eficaz quanto 8 mM de ácido ascórbico porém menos que 4 mM de metabissulfito de sódio. Através do fracionamento, verificaram que os ácidos málico e cítrico foram os componentes que tiveram mais efeito na inibição da PFO.

Também com o objetivo de avaliar a eficácia de um antioxidante natural, López-Nicolás et al. (2007) avaliaram o efeito de diferentes tipos e concentrações de ciclodextrina (CD) na inibição do escurecimento de bananas, uma vez que, embora já houvessem feito um estudo similar com suco de maçã, nenhum trabalho ainda havia sido feito com bananas. A conclusão a que os autores chegaram é bastante interessante: qualquer agente antioxidante deve ser testado no alimento de interesse, pois é possível que haja um efeito oposto ao esperado, ou seja, as CDs podem reagir com compostos presentes na fruta, comportando-se então como agentes pró-escurecimento. Nesse trabalho, a presença de compostos fenólicos hidrofóbicos ou hidrofílicos na estrutura da fruta e a inabilidade das CDs em complexar dopamina, o principal substrato fenólico da

banana (3,4 di-hidroxi-feniletilamina) transformaram as CDs em agentes pró-escurecimento.

## 2.2 Fibra alimentar e amido resistente

Durante a última década, houve um crescente interesse nas fibras alimentares, principalmente quanto à sua significância na saúde do cólon humano e como um marcador do estado geral de saúde. Além das fibras alimentares, componentes da dieta como o amido resistente (AR) e os oligossacarídeos não digeríveis (OND) tornaram-se importantes matérias para investigação científica e aplicação em diferentes alimentos (VAN DOKKUM, 2008).

Ainda hoje existem controvérsias entre os cientistas de alimentos, nutricionistas e especialistas em medicina quanto à exata definição de fibras alimentares. Na maioria dos casos, a designação fibra alimentar inclui sua não digestibilidade pelas enzimas digestivas do homem, a fermentabilidade pela flora bacteriana colônica e a origem da parede celular das plantas. Para Gordon (1999), fibra alimentar consiste de remanescentes de células vegetais comestíveis, polissacarídeos, lignina e substâncias associadas resistentes à digestão pelas enzimas alimentares humanas. A definição da AACC (*American Association of Cereal Chemists*) é bastante similar, ou seja: “as fibras alimentares consistem de remanescentes de partes comestíveis de plantas ou carboidratos análogos que resistem à digestão e absorção no intestino delgado humano e que são fermentados completa ou parcialmente no intestino grosso. As fibras alimentares incluem polissacarídeos, oligossacarídeos, lignina e substâncias vegetais associadas que promovem efeitos fisiológicos benéficos à saúde intestinal (aumento do volume e maciez do bolo fecal, aumento da frequência e regularidade de evacuações), redução do colesterol e/ou glicose sanguíneos” (AACC, 2001).

Na definição proposta pela FAO/WHO (2006), as fibras alimentares são carboidratos com grau de polimerização igual ou superior a 3 (não inclui mono e dissacarídeos), que não são digeridos e nem absorvidos no intestino delgado. Consistem de carboidratos comestíveis presentes naturalmente nos alimentos *in*

*natura*, de carboidratos obtidos a partir de matéria-prima alimentícia por meios físicos, enzimáticos ou químicos e de carboidratos sintéticos.

Originalmente, as subclasses das fibras alimentares incluem celulose, hemicelulose, pectinas e ligninas. Outra maneira de descrever as subclasses é pela diferenciação entre fibra solúvel e insolúvel. Fibra solúvel parece ter propriedade de redução do colesterol plasmático e pode alterar a resposta glicêmica dos alimentos enquanto que fibra insolúvel é particularmente conhecida por afetar a função do intestino grosso (VAN DOKKUM, 2008).

A partir da descoberta de Berry (1986), de que uma fração do amido resiste ao processo de digestão durante a análise para a determinação do teor de fibra alimentar, surgiu um grande interesse no amido resistente (AR), culminando na criação da EURESTA (*Flair Concerned Action on Resistant Starch*) que definiu AR como a soma do amido e de produtos de degradação do amido que resistem à digestão no intestino delgado de indivíduos saudáveis (ASP, 1992). De acordo com Englyst e Macfarlane (1986) e com Gee, Johnson e Lund (1992), o AR pode, no entanto, ser fermentado no intestino grosso pela microflora presente, apresentando comportamento similar ao da fibra alimentar.

Embora muitos efeitos fisiológicos do AR sejam similares aos das fibras alimentares, o AR não se enquadra na definição original de fibra alimentar como um material de parede celular vegetal. Outra diferença em relação às fibras é que as ligações químicas entre as unidades de glicose no AR são do tipo  $\alpha$ , que podem ser hidrolisadas pela  $\alpha$ -amilase presente no trato gastrointestinal humano, enquanto que as unidades de glicose dos componentes das fibras alimentares são ligadas entre si por ligações  $\beta$  que não podem ser hidrolisadas pelas enzimas do trato gastrointestinal. Portanto, a não digestibilidade do AR não se refere à sua composição química, mas sim à inacessibilidade física do AR às enzimas digestivas (VAN DOKKUM, 2008).

Segundo Englyst, Kingman e Cummings (1992), o amido pode ser classificado como: amido rapidamente digerido (ARD), amido lentamente digerido (ALD) e amido resistente (AR) de acordo com a velocidade com a qual o alimento é digerido *in vitro*. O ARD, quando submetido à incubação com amilase

pancreática e amiloglucosidase a uma temperatura de 37°C, converte-se em glicose em 20 minutos, o ALD em 120 minutos nas mesmas condições, enquanto que o AR resiste à ação das enzimas digestivas e é subdividido em 4 tipos, de acordo com suas características. A Tabela 3 apresenta essa classificação com alguns exemplos de ocorrência e sua provável digestão no intestino delgado e a Figura 3, um esquema da estrutura dos AR tipos I e II. Van Dokkum (2008) cita que, a partir dessa classificação, pode-se concluir que a resistência do AR pode ser reduzida por processos físicos como moagem, mastigação, processamento de alimentos e cocção.

Para Cummings e Stephen (2007), o conhecimento de que a extensão e a velocidade da digestão do amido podem variar foi um dos mais importantes desenvolvimentos na área de carboidratos dos últimos 30 anos, uma vez que tem implicações na resposta glicêmica dos alimentos, na fermentação que ocorre no intestino grosso e, conseqüentemente em doenças como a diabetes e a obesidade.

De acordo com Nugent (2005), a ingestão de AR varia consideravelmente de um país para outro. Na Índia e na China, a ingestão diária de AR foi estimada em 10 a 18 g/dia; na União Européia, entre 3 e 6 g/dia enquanto que no Reino Unido a estimativa é de 2,76 g/dia. Na Austrália, o consumo de 5 a 7 g/dia, superior ao da Europa, se deve à disponibilidade comercial de produtos de panificação enriquecidos com AR.

De acordo com Lunn e Buttriss (2007), a Organização de Pesquisa Científica e Industrial da Austrália (SCIRO) recomenda uma ingestão de aproximadamente 20 g de AR por dia, quantidade 4 vezes superior à normalmente fornecida por uma dieta ocidental típica.

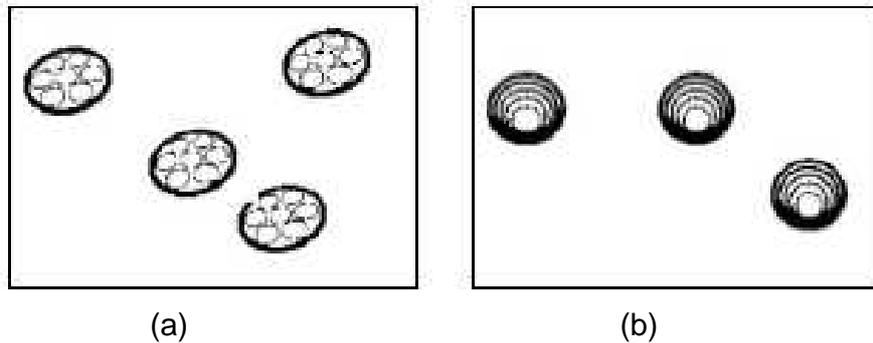
Em geral, a recomendação nutricional em todo o mundo se refere à ingestão de fibras, sem especificar o tipo, e varia de 20 a 40 g/dia, conforme o país. Para a FAO/WHO (2006), uma ingestão diária superior a 25 g de fibra alimentar é recomendada. Para Lunn e Buttriss (2007), como os diferentes tipos de fibra apresentam benefícios distintos para a saúde, a melhor forma de maximizar esses benefícios é incluir na dieta fibras com características variadas,

porém ainda não há evidências suficientes que permitam recomendações específicas sobre a ingestão diária de cada tipo de fibra. No Brasil, de acordo com a Portaria nº 27, de 13 de janeiro de 1998, que aprova o Regulamento Técnico referente à Informação Nutricional Complementar, um alimento é considerado fonte de fibra quando possui no mínimo 3 g de fibra alimentar total (FAT)/100 g do alimento sólido ou 1,5 g de FAT/100 mL de alimento líquido e com alto teor de fibra, quando a quantidade de FAT é no mínimo 6 g/100 g do alimento ou 3 g FAT/100 mL de alimento líquido (BRASIL, 1998).

**Tabela 3.** Classificação nutricional do amido *in vitro*.

<b>Tipo de amido</b>	<b>Exemplo de ocorrência</b>	<b>Provável digestão no intestino delgado</b>
Amido rapidamente digerível (ARD)	Alimentos amiláceos recentemente cozidos	Rápida
Amido lentamente digerível (ALD)	Principalmente cereais crus	Lenta, mas completa
Amido resistente (AR):		
Tipo I – Amido fisicamente inacessível na matriz do alimento por parede celular ou proteínas	Grãos de cereais inteiros ou parcialmente moídos, sementes e tuberosas	Resistente
Tipo II – Grânulos nativos protegidos da digestão pela conformação ou estrutura do grânulo (cristalinidade tipo B)	Batata crua e banana verde	Resistente
Tipo III – Amido retrogradado	Batata cozida e resfriada, pão e flocos de milho	Resistente
Tipo IV – Amidos modificados quimicamente	Ésteres e éteres de amido e amidos com ligações cruzadas	Resistente

Fonte: Englyst; Kingman; Cummings, 1992; Sajilata; Singhal; Kulkarni, 2006.



**Figura 3.** Esquema da estrutura do AR tipo I (a) e tipo II (b).  
Fonte: Sajilata; Singhal; Kulkarni, 2006.

### 2.2.1 Os efeitos fisiológicos do amido resistente

De acordo com Nugent (2005), os efeitos fisiológicos do AR são parcialmente comparáveis aos das fibras alimentares, conforme descrito a seguir.

O AR pode melhorar a saúde intestinal e, assim, contribuir para a redução do risco de diversas doenças colônicas. Ao chegar ao cólon, o amido que ainda não foi digerido é utilizado como substrato de fermentação pelas bactérias anaeróbicas, que constituem 99% da flora intestinal humana. Os produtos da fermentação do AR são os ácidos graxos de cadeia curta (AGCC), acético, propiônico e butírico, e os gases hidrogênio, dióxido de carbono e, em alguns indivíduos, metano (NUGENT, 2005). Estudos *in vitro* e estudos com animais indicam que o propionato e o butirato, em particular, têm potencial para ajudar a manter a saúde do intestino e reduzir fatores de risco envolvidos no desenvolvimento de inflamação intestinal, colite ulcerativa e câncer colorretal. Sugere-se que os efeitos benéficos podem ser obtidos especialmente pelo consumo de AR, por ser um grande produtor de butirato e de propionato, quando fermentado (BROUNS; KETTLITZ; ARRIGONI, 2002). Jenkins, Vuksan e Kendall (1998), em estudos com humanos, mostraram que a suplementação de dietas com AR resultou em maior concentração de butirato, em comparação ao tratamento controle, constituído por baixo teor de fibra.

O abaixamento do pH resultante da fermentação pode ser o responsável pela redução do risco de colonização por bactérias patogênicas sensíveis a ácidos. Um meio mais ácido também pode limitar a absorção de compostos tóxicos, como as aminas mutagênicas, pelo aumento de sua ionização (VAN DOKKUM, 2008).

Quanto ao benefício das fibras, Lunn e Buttriss (2007) citam que as fibras insolúveis, como a celulose presente no farelo de trigo, aumentam o volume das fezes, facilitando sua passagem através do trato gastro-intestinal, porém resistem à fermentação pelas bactérias do intestino grosso, não sendo atribuído a elas nenhum efeito de redução do colesterol plasmático. Pelo contrário, as fibras solúveis, como a beta-glucana da aveia, são rapidamente fermentadas pelas bactérias do intestino grosso, produzindo AGCC, dentre os quais o ácido propiônico, associado à redução do colesterol do sangue. No entanto, os gases produzidos durante a fermentação rápida das fibras solúveis podem causar desconforto gastro-intestinal, principalmente se houver um aumento repentino da ingestão desse tipo de fibra. O AR, por sua vez, por fermentar lentamente, contribui para a saúde do intestino, sem causar desconforto.

Cummings *et al.* (1996) estudaram a digestão de quatro fontes de AR oriundos de batata, banana, trigo e milho em indivíduos saudáveis. Os indivíduos controle desse experimento receberam ou dietas amiláceas sem AR ou dietas contendo polissacarídeos não amiláceos (PNA). Os autores observaram aumento da massa fecal para os indivíduos onde o AR compunha a dieta, porém, em quantidade significativamente menor do que na dieta contendo PNA. Yue e Waring (1998) citam que o aumento do volume fecal causado pelo consumo de AR apresenta efeitos importantes na prevenção da constipação, diverticulite e hemorróidas, além de diluir compostos tóxicos, potenciais formadores de células carcinogênicas.

O AR também pode melhorar a resposta glicêmica e insulinêmica e, portanto, tem efeito importante no controle da síndrome metabólica, termo que, segundo Van Dokkum (2008) inclui os perfis clínicos dos maiores problemas de saúde de hoje: obesidade, doenças cardiovasculares e diabetes. Alguns dos

potenciais efeitos benéficos do AR se referem à liberação retardada da glicose como combustível, com a subsequente utilização de lipídios, e ao controle do apetite (TAPCELL, 2004). Alimentos contendo AR e fibras solúveis moderam a taxa de digestão. Essa digestão mais lenta do AR tem implicações no controle da liberação da glicose. Em contraste com o amido cozido normalmente, que é digerido quase que de imediato, o metabolismo do AR ocorre de 5 a 7 horas após o consumo, reduzindo assim a glicemia e a insulinemia pós-prandial, com potencial para aumentar o tempo de saciedade (SAJILATA; SINGHAL; KULKARNI, 2006).

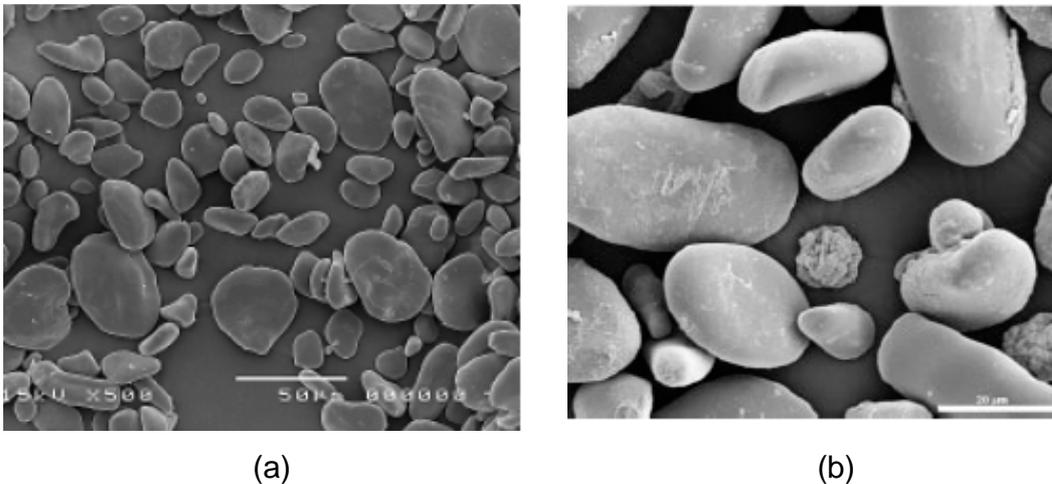
O AR também tem sido associado a reduções nos níveis do colesterol LDL (lipoproteína de baixa densidade) e de triglicérides na hiperlipidemia (JENKINS; VUKSAN; KENDALL, 1998), porém, parece menos eficaz do que as fibras viscosas na interação com a digestão e absorção de lipídios no intestino delgado (VAN DOKKUM, 2008).

Experimentos em humanos visando o estudo dos efeitos do AR na absorção de minerais no intestino delgado são limitados. Embora o sítio de absorção para a maioria dos nutrientes seja o intestino delgado, é interessante observar que o cólon pode desempenhar importante papel na absorção de minerais. Isso é baseado no fato de que a pequena redução no pH colônico, como consequência da produção de AGCC durante a fermentação, pode tornar os minerais mais solúveis e, portanto, mais disponíveis para absorção no cólon. Esse efeito já foi observado em cálcio, zinco e ferro em estudos com porcos jovens (MORAIS *et al.*, 1996) e mais recentemente em estudos *in vitro* (BOSSCHER *et al.*, 2003).

### **2.3 O amido da banana verde**

A polpa da banana verde pode conter de 70 a 80% de amido (em base seca), proporção comparável à presente na batata e no endosperma do grão do milho (ZHANG *et al.*, 2005).

Kayisu e Hood (1981), Lii, Chang e Young (1982) e Jane *et al.* (1994) definiram o formato dos grânulos de amido das diferentes variedades de banana como oval ou elíptico com presença de picos e o maior eixo medindo de 6 a 80  $\mu\text{m}$ , em geral entre 20 e 60  $\mu\text{m}$ . Peroni *et al.* (2007) também verificaram que, nos primeiros estádios de amadurecimento (entre zero e 17 dias após a colheita), o grânulo de amido da banana Nanicão apresenta superfície lisa e formato oval ou elíptico (Figura 4). Para Ling *et al.* (1982), o amido das bananas da espécie *cavendish*, que inclui a variedade Nanicão, é muito irregular na forma e no tamanho. Bello-Pérez *et al.* (2005) verificaram, por micrografia, que os grânulos de amido da *Musa paradisiaca* têm formato predominantemente lenticular, com alguns pequenos grânulos em formato esférico. Espinoza-Solis *et al.* (2009), estudando a mesma espécie de banana também definiram os grânulos de amido como de formato lenticular, com a maior dimensão média de 40  $\mu\text{m}$  e a menor de 20  $\mu\text{m}$ .



**Figura 4.** Grânulo de amido de banana verde Nanicão com 17 dias após a colheita (a) e de grânulo de amido de banana verde *Musa paradisiaca* (b).  
Fonte: Peroni *et al.*, 2007; Espinoza-Solis *et al.*, 2009.

Zhang *et al.* (2005) citam que a funcionalidade dos amidos depende da relação amilose/amilopectina, do peso molecular, das propriedades do grânulo e de outros componentes (lipídios e proteínas) ligados a esses grânulos. Enquanto

os amidos de cereais apresentam teores de amilose na faixa de 20 a 25%, Kayisu e Hood (1981) reportaram que o teor de amilose do amido de banana é de 16%, Ling *et al.* (1982) reportaram como sendo 19,5% para a espécie *cavendish* e Garcia e Lajolo (1988), cerca de 17% para a mesma espécie. Waliszewski *et al.* (2003) encontraram 40,7% de amilose na variedade Valery.

O amido cru é um material semi-cristalino, cujo grau e padrão de cristalinidade dependem principalmente do comprimento das cadeias de amilopectina, da densidade de empacotamento no interior dos grânulos e da presença de água (SAJILATA; SINGHAL; KULKARNI, 2006). Segundo Zobel (1964), os grânulos de amido são classificados de acordo com suas características de cristalinidade em três padrões:

Tipo A: apresentam picos de intensidade nos ângulos de difração  $2\theta$  em  $15,3^\circ$ ;  $17,1^\circ$ ;  $18,2^\circ$  e  $23,5^\circ$ ;

Tipo B: apresentam picos de intensidade nos ângulos de difração  $2\theta$  em  $5,6^\circ$ ;  $14,4^\circ$ ;  $17,2^\circ$ ;  $22,2^\circ$  e  $24^\circ$ ;

Tipo C: apresentam picos de intensidade nos ângulos de difração  $2\theta$  em  $5,6^\circ$ ;  $15,3^\circ$ ;  $17,3^\circ$  e  $23,5^\circ$ .

Segundo Eerlingen, Deceuninck e Delcour (1993), cadeias longas e compactas de amilopectina apresentam alta cristalinidade (padrão B) a qual é reforçada por numerosas associações com moléculas menores e espiraladas de amilose. Quando a amilose se encontra distanciada da amilopectina, o grânulo tende a apresentar baixa cristalinidade (padrão A) e maior suscetibilidade à amilase.

Em geral, os grânulos de amido de cereais, milho regular e ceroso apresentam padrão A; de tubérculos, milho com alto teor de amilose e amido retrogradado, padrão B, enquanto que amido de leguminosas e de algumas raízes e sementes, padrão C. Para o amido de banana, o padrão de difração tipo B foi reportado por Lii, Chang e Young (1982), Faisant *et al.* (1995) e Teixeira *et al.* (1998). Para banana verde da variedade Macho, Bello-Pérez *et al.* (2005) verificaram um misto entre padrão tipo A e tipo B, conhecido como padrão tipo C. Jane *et al.* (1994) e Waliszewski *et al.* (2003) também obtiveram padrão tipo C

para o amido das bananas estudadas enquanto que Bello-Pérez *et al.* (2000) reportaram um padrão A típico para bananas das variedades Macho e Criollo. A partir da divergência nos resultados, conforme reportado pelos diferentes autores, Zhang *et al.* (2005), concluíram que o amido de banana pode ter padrão de cristalinidade, tipo A, B ou C, dependendo da variedade, origem e/ou condições e técnicas de cultivo.

A funcionalidade tecnológica dos amidos está muito relacionada às suas características de gelatinização e de formação de pasta. Quando aquecido em água, o grânulo de amido intumescce gradativamente até perder sua cristalinidade ao atingir a temperatura de gelatinização. Durante a fase de intumescimento, os grânulos de amido se rompem e parte da amilose e da amilopectina se solubilizam. A rede formada pelas frações intactas do amido bem como pelos grânulos intumescidos e fragmentados é responsável pelas características de viscosidade e do gel formado. A habilidade da amilose em retrogradar rapidamente e da amilopectina em retrogradar mais lentamente dá origem a diferentes tipos de géis e afeta a textura dos produtos ao longo do tempo (ZHANG *et al.*, 2005).

As propriedades de pasta de amidos e farinhas de banana de diversas variedades da família *Musaceae* foram estudadas por vários autores, em diferentes concentrações e aparelhos, o que torna inviável a comparação. No viscoamilógrafo Brabender, foram estudadas dispersões de amido com concentrações variando de 4 a 8% (KAYISU; HOOD; VANSOEST, 1981); 6% (LING *et al.*, 1982); 4,4% (PEREZ-SIRA, 1997); 1 a 6% (NUNEZ-SANTIAGO; BELLO-PÉREZ; TECANTE, 2004); 8% (DE LA TORRE-GUTIÉRREZ; CHEL-GUERRERO; BETANCUR-ANCONA, 2008) e dispersão de farinha com concentração de 10% (PACHECO-DELAHAYE *et al.*, 2008). No *Rapid Visco Analyser* (RVA), foram analisadas dispersões de amido com concentração de 4% (MOTA *et al.*, 2000) e 16% (BELLO-PÉREZ *et al.*, 2000) e de farinha com concentração de 4% (MOTA *et al.*, 2000) e de 12% (MUJONGA; RAMTEKE; EIPESON, 2001).

Kayisu, Hood e Vansoest (1981) apresentaram curvas obtidas em viscoamilógrafo Brabender para o amido da banana Valery nas concentrações de

4 a 8%. Nas baixas concentrações, os grânulos de amido aparentemente resistiram à fragmentação mecânica, o que explica a falta de um pico, mas apenas um pequeno aumento de viscosidade durante o cozimento. Nas concentrações mais altas (7 e 8%) as curvas obtidas apresentaram picos de viscosidade e quebra pronunciados, comportamento que os autores explicaram como resultado de os grânulos intumescidos ocuparem grande parte do espaço, dificultando sua movimentação e causando a grande fragmentação. Durante o resfriamento, em altas concentrações, o amido apresentou *setback* pronunciado, o que está relacionado à tendência à retrogradação. Mota *et al.* (2000) obtiveram resultados similares para as farinhas das variedades Prata anã, Prata comum, Maçã e Ouro da Mata, enquanto que os resultados obtidos mostraram que as variedades Nanica, Nanicão e Ouro colatina apresentam grânulos resistentes à fragmentação mecânica. Com base nos resultados obtidos em seus experimentos, Ling *et al.* (1982) citaram que, em geral, o amido de banana apresenta intumescimento restrito com boa estabilidade, comportamento bastante similar ao de amidos com ligações cruzadas. Para esses autores, a pasta de amido de banana obtida em viscoamilógrafo Brabender apresentou viscosidade de pico na ordem de quatro vezes a da pasta de amido de milho na mesma concentração (6%).

O amido da banana é resistente à ação da  $\alpha$ -amilase e da glucoamilase, sendo que resultados de testes *in vivo* mostraram que 75 – 84% dos grânulos de amido ingeridos chegaram intactos ao íleo, a última porção do intestino delgado (ENGLYST; CUMMINGS, 1986; FAISANT *et al.*, 1995). Embora seja sabido que a resistência é perdida quando o amido é cozido até a gelatinização (ZHANG *et al.*, 2005), alguns estudos mostraram que a fração rapidamente digerível de amido cozido de banana era de apenas 47%, característica comparável à do amido de inhame cozido (40%) (CERNING-BEROARD; DIVIDICH, 1976 apud ZHANG *et al.*, 2005 e LOZANO; CABRERA; SALAZAR, 1973, apud ZHANG *et al.*, 2005).

Na caracterização dos amidos de banana verde *Musa* AAA – Nanicão e *Musa* AAB – Terra, Freitas (2000) concluiu que ambas as variedades apresentaram alto teor de AR (84,61 e 84,81% em base seca, respectivamente), demonstrando baixa susceptibilidade *in vitro* à  $\alpha$ -amilase pancreática, principalmente os grânulos de

menor tamanho (20 a 30  $\mu\text{m}$ ). O ataque enzimático ao grânulo se deu superficialmente, determinando estrias equatoriais e eventuais corrosões apicais dos grânulos. Quanto ao efeito no trato intestinal de ratos, as dietas planejadas com os dois amidos estudados ofereceram consumo e crescimento semelhantes para os grupos de ensaio. A dieta com AR de *Musa* AAA – Nanicão resultou em maior quantidade de matéria fecal e excreção de amido resistente. Em quantidades elevadas (32%), o AR de bananas verdes propiciou um melhor perfil lipídico sérico principalmente quanto à redução da quantidade de colesterol e de triacilgliceróis. O AR de *Musa* AAB – Terra na concentração de 32% retardou a absorção de glicose no intestino delgado, enquanto que o AR de *Musa* AAA – Nanicão na mesma concentração aumentou significativamente a quantidade de bactérias mesófilas aeróbicas e anaeróbicas.

#### **2.4 Farinha de banana verde e processos de secagem para sua obtenção**

De acordo com a Resolução RDC nº 263, de 22 de setembro de 2005, que aprovou o Regulamento Técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos, 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 (BRASIL, 2005).

Para a obtenção de farinha tendo-se como matéria-prima uma fruta, o processo de secagem deve preceder o de moagem, sendo que diversos tipos de secadores podem ser empregados. Na seleção do processo/equipamento, além da forma física (fruta inteira, pedaços, suco, polpa ou purê), as propriedades químicas da matéria-prima, as características físicas e nutricionais desejadas para o produto final, as condições de operação necessárias e os respectivos custos também devem ser considerados. Para a secagem de frutas e hortaliças em geral, Jayaraman e Das Gupta (1995) citam que são três os principais processos:

(i) ao sol;

(ii) à pressão atmosférica, por um processo em batelada (secador de bandejas) ou de um processo contínuo (túnel, esteira, microondas, leiteo fluidizado, atomização ou *spray drying*, tambor rotativo ou *drum drying*);

(iii) à pressão subatmosférica (em esteira, tambor rotativo ou liofilização).

Atualmente, o processo de desidratação de frutas e hortaliças mais empregado utiliza a técnica de secagem por ar quente, por ser, dentre as existentes, a mais simples e econômica. Neste método, o ar aquecido é colocado em contato com o material a ser seco para que ocorra a transferência de calor (principalmente por convecção) e de massa, que se dá pela migração da água do interior para a superfície do produto e a evaporação desta para o ambiente. Para a obtenção de produtos de alta qualidade a um custo adequado, a secagem deve ocorrer o mais rapidamente possível, sendo que os fatores que mais afetam a taxa e o tempo total de secagem são: as propriedades físicas da matéria-prima, principalmente o tamanho e a geometria, as propriedades do ar (temperatura, umidade relativa e velocidade) e as características de projeto do equipamento, tais como a forma de circulação do ar através do produto. Para a secagem de frutas em pedaços podem ser usados os secadores de bandejas, túnel, esteira e pneumático (JAYARAMAN; DAS GUPTA, 1995).

O secador de bandejas é um secador de pequena escala que consiste basicamente de uma câmara com isolamento térmico apropriado e com sistemas de aquecimento e ventilação do ar circulante sobre as bandejas e através delas. Dependendo do material a ser desidratado, as bandejas são carregadas à razão de 6 a 10 kg/m<sup>2</sup> de área de bandeja e o ar aquecido circula por meio de ventilador a velocidades que variam de 1 a 10 m/s (TRAVAGLINI; GASPARINO FILHO; AGUIRRE, 1997).

Para a secagem de líquidos ou purês, uma técnica que pode ser empregada é a secagem em tambor rotativo. O equipamento é constituído de um ou dois cilindros aquecidos por meio de circulação interna de vapor que podem girar a velocidades variáveis e o produto é aplicado sobre sua superfície, de modo a formar uma fina película. À medida que o cilindro gira, o produto seca e é raspado da superfície do cilindro por uma faca, quando já se encontra seco. Frutas

com alto teor de fibra como maçã, goiaba, banana e mamão podem ser secas no *drum dryer* sem aditivo, porém polpas de frutas com baixo teor de fibra como o morango requerem a adição de até 1% de pectina de baixo grau de metoxila para ajudar na formação do filme. Produtos de cereais do tipo farinhas instantâneas são desidratados por esse processo (JAYARAMAN; DAS GUPTA, 1995; TRAVAGLINI; GASPARINI FILHO; AGUIURRE, 1997).

Manlan *et al.* (1985) estudaram o processo de obtenção de flocos de batata doce instantânea em *drum dryer* com aquecimento por vapor a 246 kPa, distância entre os cilindros de 0,305 mm e velocidade de rotação de 1,73 rpm.

Masters (1972) define a secagem por atomização como a transformação de um produto no estado fluido para o estado sólido na forma de pó, pela dispersão de finas gotículas do material dentro de uma câmara, que entra em contato com uma corrente de ar aquecido. Potter e Hotchkiss (1995) relatam que o emprego deste tipo de secador é limitado a alimentos que podem ser atomizados, como líquidos, pastas e purês de baixa viscosidade e que há vários tipos de *spray dryers*, cada qual projetado para produtos alimentícios com características específicas. De acordo com Sokhansanj e Jayas (1995), as principais diferenças estão nos sistemas de atomização, no fluxo de produto e de ar (co-corrente, contra-corrente ou misto), nos sistemas de aquecimento do ar, de separação e de recuperação do produto seco. Segundo Travaglini, Gasparino Filho e Aguirre (1997), existem basicamente, três tipos de atomizadores: sob pressão, centrífugos e duplos. Destes, o atomizador centrífugo apresenta a vantagem de poder atomizar produtos viscosos a pressões baixas, sem sofrer entupimento e desgastes por abrasão. O *spray dryer* se caracteriza pelo curto tempo de secagem (1 a 10 minutos) e pela temperatura atingida pelo produto relativamente baixa. Sokhansanj e Jayas (1995) relatam que, dentre as frutas que já foram secas por atomização, estão o tomate e a banana e, em menor extensão, frutas cítricas, pêssego e damasco, sempre na forma de polpa ou purê.

Mujumdar e Menon (1995) compararam a capacidade de evaporação e o consumo de energia de diferentes secadores e verificaram que a capacidade de evaporação do *drum dryer* é de 6 a 20 kg H<sub>2</sub>O/h.m<sup>2</sup> e do *spray dryer* de 1 a 30 kg

H<sub>2</sub>O/h.m<sup>3</sup>, enquanto que o consumo de energia é de 3.200 a 6.500 kJ/kg de água evaporada e 4.500 a 11.500 kJ/kg de água evaporada, para o *drum dryer* e para o *spray dryer*, respectivamente. Os autores esclarecem que os valores são aproximados e baseados em dados reais.

A liofilização é o processo de secagem no qual a água é removida de um alimento congelado por sublimação e apresenta como vantagens o mínimo encolhimento, a rápida reidratação devido à estrutura porosa do produto e a elevada retenção de compostos voláteis que conferem o sabor e o aroma dos alimentos. Como a secagem é feita a baixas temperaturas, a degradação térmica dos nutrientes é mínima e o produto obtido apresenta elevada qualidade nutricional. Por tratar-se de um processo que requer alto investimento, com custos de operação e de manutenção também elevados, tal processo é justificável somente para alimentos de alto valor agregado ou para produtos termossensíveis (SOKHANSANJ; JAYAS, 1995; JAYARAMAN; DAS GUPTA, 1995). Para Liapis e Bruttini (1995), o processo de liofilização tem um custo muito elevado, principalmente em função do longo tempo de processo que resulta em custos fixos de 1,5 a 2,5 vezes mais elevados que os custos variáveis. Quanto ao consumo de energia, os autores citam uma estimativa de 3.640 kJ/kg de água sublimada.

Ao estudarem métodos de desidratação de colostro bovino, Chelack, Morley e Haines (1993) concluíram que, no processo de liofilização, o consumo de energia por kg de produto desidratado foi de 3.600 kJ enquanto que por atomização, o consumo foi de 2.448 kJ. Os autores reconhecem a eficiência do método na preservação da função da imunoglobulina, mas apontam como desvantagens, o tempo de processo, o consumo de energia e os elevados custos de investimento e de manutenção.

Dentre os diversos estudos sobre farinha de banana verde (FBV) realizados nos últimos anos com o objetivo de caracterização e/ou aplicação em produtos alimentícios, o processo normalmente empregado foi a secagem em bandejas ou em estufa com circulação de ar forçado. As temperaturas empregadas variaram de 50°C a 70°C e os tempos de 3 a 24 horas (LOURES *et al.*, 1990; MUYONGA; RAMTEKE; EIPESON, 2001; JUAREZ-GARCIA *et al.*, 2006; DARAMOLA e OSANYINLUSI, 2006; RODRIGUEZ-AMBRIZ *et al.*, 2008; BORGES; PEREIRA; LUCENA, 2009;

TRIBESS *et al.*, 2009; CHOO e AZIZ, 2010; OVANDO-MARTINEZ *et al.*, 2009; AGAMA-ACEVEDO *et al.*, 2009). A secagem ao sol por 18 horas foi empregada por Moraes Neto *et al.* (1998). Mota *et al.* (2000) empregaram o processo de liofilização e Pacheco-Delahaye *et al.* (2008), além da liofilização e da secagem em bandejas, estudaram os processos em tambor rotativo e microondas. Adeniji, Barimalaa e Achinewhu (2006) apud Pacheco-Delahaye *et al.* (2008) comentam que os processos de secagem em tambor rotativo e em *spray dryer* podem ser empregados na produção de FBV estáveis por no mínimo um ano e que tais produtos podem ser usados no tratamento de doenças intestinais, no preparo de alimentos infantis, além de produtos de panificação e de confeitaria.

Para Silva (1999), a partir da maioria das variedades de banana no estágio verde, pode-se produzir uma farinha extremamente nutritiva e com inúmeras aplicações na alimentação, desde o preparo de mingaus até de biscoitos. Diversos autores citam o potencial da farinha de banana verde para as indústrias de panificação, massas alimentícias e biscoitos (MORAES NETO *et al.*, 1998; PACHECO-DELAHAYE; TESTA, 2005; JUAREZ-GARCIA *et al.* 2006; FASOLIN *et al.*, 2007; PACHECO-DELAHAYE *et al.*, 2008; OVANDO-MARTINEZ *et al.*, 2009; BORGES; PEREIRA; LUCENA, 2009; AGAMA-ACEVEDO *et al.*, 2009; CHOO e AZIZ, 2010), de confeitaria (PACHECO-DELAHAYE *et al.*, 2008), alimentos infantis (MORAES NETO *et al.*, 1998; PACHECO-DELAHAYE *et al.*, 2008; BORGES; PEREIRA; LUCENA, 2009), alimentos dietéticos (MORAES NETO *et al.*, 1998) e de alimentos em pasta (DARAMOLA e OSANYINLUSI, 2006).

Suntharalingam e Ravindran (1993) afirmaram que 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. Para esses autores, as variedades usadas para cozimento são as mais adequadas para a produção de farinha, por possuírem alto teor de amido e por sofrerem menor alteração de cor durante a secagem, quando comparadas com as variedades para sobremesa. Os autores obtiveram rendimentos em farinha de 25,5 e 31,3%, respectivamente, para as variedades estudadas Monthan e Alukehel secas em bandejas. As farinhas obtidas apresentaram-se ricas em minerais como potássio (acima de 270 mg/100g

de matéria seca) e fósforo (acima de 120 mg/100g de matéria seca) e continham quantidades significativas de ferro e zinco. O teor de amido resistente das farinhas não foi analisado. A partir dos resultados obtidos, os autores sugeriram a necessidade de mais pesquisas para investigar as propriedades funcionais da FBV visando sua utilização em produtos alimentícios. Estudos preliminares desses autores indicaram a similaridade da FBV e do amido desse fruto no que diz respeito ao poder espessante e às propriedades de cozimento.

A composição química e algumas características físico-químicas de farinhas obtidas por liofilização a partir de 8 variedades brasileiras foram estudadas por Mota *et al.* (2000). As principais diferenças foram encontradas no teor de amido, que variou de 61% para a variedade Mysore a 76,5% para a Nanica e no teor de fibras, que foi de 15,5% para a Mysore e 6% para a Nanicão. As farinhas e amidos obtidos não foram analisados quanto ao teor de amido resistente. As características de pasta do amido e da farinha das variedades Ouro da Mata e Mysore foram avaliadas no aparelho *Rapid Visco Analyser* (RVA). Para os amidos, foram obtidos menor viscosidade máxima e maior estabilidade a 95°C que as respectivas farinhas, mostrando que os grânulos de amido isolados são mais resistentes à fragmentação mecânica do que na farinha. Isso pode ser explicado pela interação do amido com outros polissacarídeos presentes na fração de fibra, que conferem o aumento de viscosidade. Mesmo com as diferenças encontradas, os autores consideraram que, como o processo de produção de farinha é mais simples e rápido que a extração de amido, a FBV pode ser usada em substituição ao amido devido à praticidade e menor custo.

Muyonga, Ramteke e Eipeson (2001) investigaram a aplicação do tratamento com vapor antes da desidratação de bananas verdes e o efeito do mesmo nas propriedades físico-químicas da farinha obtida. As bananas foram submetidas a um tratamento térmico com vapor na faixa de temperatura de 100 a 115°C por 7 minutos para a inativação enzimática e facilidade na remoção manual das cascas, que foi feita 30 minutos após o final da operação, quando as bananas já haviam resfriado. Após corte em rodela de 4 mm, as bananas foram secas em bandejas com ar quente (60 – 65°C e velocidade de 1,5 m/s) por

4 horas, até teor máximo de umidade de 12%. As bananas desidratadas foram moídas em moinho de martelo. Ao compararem as bananas que foram tratadas termicamente com vapor com as que não passaram por tratamento térmico, os autores verificaram que o tratamento com vapor reduziu o teor de amido (de 75,9% para 70,6% em base seca) e aumentou o teor de açúcares totais (de 9,4% para 12,4%) e atribuíram essas diferenças à hidrólise parcial do amido durante o contato com o vapor. O tratamento térmico estudado também reduziu a menos da metade o teor de vitamina C (de 13,1 mg/100g para 6,2 mg/100g) devido à destruição térmica da mesma e propiciou menor escurecimento das bananas, avaliado pela luminosidade (L), como resultado da inativação da polifenoloxidase. Na avaliação das propriedades de pasta das farinhas em RVA, verificou-se que a farinha tratada termicamente com vapor apresentou menor temperatura de pasta e menor viscosidade máxima que a farinha apenas desidratada com ar quente, levando à conclusão de que o tratamento térmico com vapor causou a pré-gelatinização do amido. Os menores valores de *setback* e de *breakdown* da farinha tratada com vapor caracterizaram-na como mais estável que a não tratada, ou seja, não apresentou a tendência de formar pasta muito fluida durante o reaquecimento ou muito espessa durante o resfriamento, características indesejáveis para a maioria das aplicações. Muyonga, Ramteke e Eipeson (2001) comentam que, na inexistência de equipamentos mecânicos para a retirada da casca das bananas verdes, o tratamento com vapor é uma alternativa simples e barata e que a secagem com ar quente é possível em países em desenvolvimento, onde tecnologias como a secagem em tambor rotativo ou por atomização são inviáveis. As farinhas não foram analisadas quanto ao teor de AR.

Torres *et al.* (2005) avaliaram a viabilidade da aplicação da extrusão termoplástica para a produção de farinha de banana verde pré-gelatinizada, analisando o efeito da umidade de processamento e da temperatura do extrusor sobre as características dos produtos obtidos. Após descascamento manual e tratamento com agentes antioxidantes, as bananas verdes foram cortadas em rodela de 3 mm e secas a 66°C por cerca de 10 horas em bandejas perfuradas e, em seguida, desintegradas em moinho de facas. O processo de extrusão foi estudado

através do delineamento central composto rotacional de 2ª ordem. As faixas de estudo foram: umidade da pasta a ser extrusada entre 14,3% e 25,7% e temperatura do extrusor entre 108°C e 192°C. Na avaliação da composição centesimal das farinhas, os autores concluíram que a extrusão não provocou variação substancial em relação à amostra não extrusada, exceto no teor de amido, fato que foi explicado como resultado da degradação molecular do amido em compostos de menor peso molecular. Mesmo nas condições mais brandas de extrusão a estrutura do amido foi destruída, tornando-se suscetível ao ataque enzimático e possibilitando valores elevados de gelatinização. Os maiores graus de gelatinização ocorreram com as combinações de alta temperatura e baixa umidade.

Daramola e Osanyinlusi (2006) determinaram a composição centesimal e as propriedades de pasta de farinhas de bananas verdes das variedades Gros Michel, Cavendish anã, Cavendish, Lacatan, Poyo e Red Skin em aparelho RVA. As farinhas foram preparadas seguindo-se as seguintes etapas: descascamento, tratamento com metabissulfito de sódio (0,5%), corte em rodela de 1 cm de espessura, secagem a 50°C por 24 horas e moagem em moinho de martelo. O teor de umidade das farinhas variou de 10,8% a 12,1% e o teor de carboidratos, de 80,2% a 86,5%, entretanto o amido resistente não foi analisado. As diferenças nas propriedades de pasta das farinhas obtidas a partir das variedades de banana estudadas mostraram que há diferenças nos grânulos de amido. Cavendish foi a variedade que deu origem à farinha com maior resistência ao aquecimento (menor *breakdown*) e maior estabilidade à retrogradação (menor *setback*).

Pacheco-Delahaye *et al.* (2008) estudaram quatro métodos de desidratação para a produção de farinhas de banana verde utilizando como matéria-prima a banana da terra (*Musa paradisíaca normalis*) da variedade Harton, bastante comum na Venezuela. Os métodos empregados foram: secagem em bandejas, em tambor rotativo, por liofilização e em forno de microondas. As farinhas obtidas foram avaliadas quanto à composição centesimal, características físicas e propriedades reológicas e funcionais. O teor de umidade das amostras variou de 2,36% para o processo de liofilização a 11,75% para a secagem em bandejas. Os teores de açúcares totais das farinhas obtidas em tambor rotativo e em

microondas foram maiores (15,78% e 14,95%) que das demais farinhas (4,23% e 6,98%), diferença atribuída à hidrólise do amido ocorrida como efeito do processo térmico. Não houve diferença significativa entre as amostras quanto aos teores de proteína, cinzas e fibra alimentar. Quanto à cor, as farinhas obtidas em tambor rotativo e, principalmente em microondas apresentaram as maiores diferenças de cor ( $\Delta E$ ), sugerindo a ocorrência de reação de Maillard. No que diz respeito às propriedades de pasta avaliadas em viscoamilógrafo Brabender, com exceção da farinha liofilizada, as demais apresentaram perfis de viscosidade bastante semelhantes após terem alcançado a viscosidade máxima. A farinha obtida em tambor rotativo apresentou perfil característico de farinha pré-gelatinizada, enquanto que as obtidas em microondas e secador de bandejas mostraram perfis de farinha parcialmente gelatinizada. Os autores enfatizaram a importância dessa característica para aplicações em produtos instantâneos ou de cozimento rápido.

Borges, Pereira e Lucena (2009) caracterizaram uma farinha de banana verde da cultivar Prata seca em estufa de circulação de ar forçado a 70°C por 12 horas, tendo concluído que a FBV é uma rica fonte de amido (75,2%, bs) e proteína (4,7%, bs) e apresenta alto valor calórico (373 kcal/100 g). O amido resistente não foi analisado. Quanto aos minerais, apresenta altos teores de potássio, fósforo, magnésio, cobre, manganês e zinco, quando comparada às demais farinhas existentes no mercado. Os autores citaram a viabilidade do emprego da cultivar Prata no processo de obtenção de FBV, visando o enriquecimento de alimentos ou a substituição parcial da farinha de trigo em panificação, confeitaria, alimentos infantis e produtos dietéticos.

Tribess *et al.* (2009) avaliaram as propriedades térmicas e o teor de amido resistente de FBV da variedade Nanicão (*Musa cavendish*) produzida em diferentes condições de secagem em bandejas por aproximadamente 6 horas: 55°C e 1,4 m/s (velocidade do ar); 55°C e 1,0 m/s; 55°C e 0,6 m/s; 58°C e 0,6 m/s; 52°C e 0,6 m/s. A amostra com maior teor de AR (58,5%, bs) foi a processada nas condições de 55°C, 1,4 m/s e 5,7 horas, com teor de umidade de 4,0% e a de menor teor de AR (40,9%) foi processada a 52°C, 0,6 m/s e 6,7 horas, tendo apresentado 1,6% de umidade. A gelatinização do amido das farinhas obtidas foi

acompanhada por calorimetria diferencial de varredura (DSC), em que, pelos termogramas, podem-se obter os valores de  $T_o$  (temperatura de início de gelatinização),  $T_c$  (temperatura final de gelatinização) e  $T_p$  (temperatura de pico). A  $T_p$  variou de 67,9°C a 68,6°C, dependendo das condições de secagem. Todas as temperaturas de pico obtidas neste trabalho foram similares, porém menores que a encontrada por Waliszewski *et al.* (2003) para banana da mesma variedade (69,5°C). Bello-Pérez *et al.* (2000) encontraram  $T_p$  de 77°C e de 74°C, respectivamente, para as variedades Macho e Criollo.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 A banana como matéria-prima

##### 3.1.1 Caracterização de três variedades de banana para definição da matéria-prima a ser empregada no estudo

###### 3.1.1.1 Composição centesimal

Amostras de bananas (*Musa cavendish*) das variedades Nanicão Jangada, Grand Naine e Williams foram coletadas, na fazenda Bernardes no município de Palmital – SP, em uma mesma data, evitando-se assim a influência de variações da época do plantio, do solo e do clima. Foram selecionados, na plantação, cachos com tamanho e desenvolvimento adequados para a colheita. De cada variedade, foram colhidas a primeira e a última penca de 3 diferentes cachos para o preparo das amostras compostas. No dia seguinte à colheita, as bananas foram descascadas, trituradas em miniprocessador de alimentos (WALITA, modelo HR 2939/00, Varginha, Brasil), acondicionadas em embalagens de polietileno e imediatamente congeladas, sendo mantidas assim até o momento da realização das análises.

As análises da composição centesimal foram realizadas no Laboratório de Bromatologia do Centro de Ciência e Qualidade de Alimentos do ITAL, de acordo com os seguintes métodos:

- Umidade: por secagem a 70°C sob vácuo, de acordo com AOAC 920.151 (HORWITZ, 2005);
- Proteína: pela determinação do nitrogênio total, utilizando-se a técnica de Kjeldahl, considerando o fator N X 6,25 para a obtenção do teor de proteína, de acordo com AOAC 920.152 (HORWITZ, 2005);
- Lipídios: por hidrólise ácida e extração no sistema Butt, de acordo com método 034/IV do Instituto Adolfo Lutz (ZENEBON; PASCUET, 2005);
- Cinzas: pela calcinação de 25 g de amostra em mufla a 525°C até massa constante, conforme método 940.26 da AOAC (HORWITZ, 2005);

- Fibra alimentar solúvel, insolúvel e total: pelo método enzimático-gravimétrico, usado para determinar os teores de fibras solúveis, insolúveis e totais, de acordo com AOAC 991.43 (HORWITZ, 2005).

### **3.1.1.2 Teor de amido resistente**

O teor de amido resistente foi avaliado, no Laboratório de Bioquímica do Centro de Ciência e Qualidade de Alimentos do ITAL, de acordo com o método AOAC 2002.02 (HORWITZ, 2005), com as seguintes modificações baseadas em Goñi *et al.* (1996).

- adição de 5,0 mL de solução de pepsina com atividade 1:10.000 (4 mg/mL) em tampão KCl/HCl 0,1M, pH 1,5 na primeira etapa de digestão da amostra;
- adição de 10 mL de  $\alpha$ -amilase pancreática 30 U/mL (10 mg/mL) ao invés de 4,0 mL;
- adição de KOH 4M ao invés de KOH 2M;
- adição de 17 mL de solução tampão de acetato de sódio 1,2M (pH 3,8) ao invés de 8 mL.

### **3.1.2 Avaliação do teor de amido resistente ao longo do tempo**

Em cada dia de processamento das farinhas, três bananas da variedade Nanicão Jangada, das regiões superior, central e inferior do cacho empregado como matéria-prima naquele dia, foram homogeneizadas em miniprocessador de alimentos (WALITA, modelo HR 2939/00, Varginha, Brasil) e a massa obtida foi acondicionada em saco de polietileno e congelada para posterior análise do teor de amido resistente, de acordo com o método descrito em 3.1.1.2.

### **3.1.3 Avaliação da firmeza e dos sólidos solúveis ao longo do tempo**

Nos dias 1, 4, 7 e 9 após a colheita, a matéria-prima foi analisada quanto aos sólidos solúveis totais e à firmeza da polpa.

Para a análise dos sólidos solúveis totais, foi utilizada a metodologia proposta por Medina (2004): os frutos foram descascados e a polpa triturada em miniprocessador (WALITA, modelo HR 2939/00, Varginha, Brasil) até obtenção de pasta homogênea, da qual foram tomadas duas amostras de 50 g para centrifugação (Excelsa II, FANEM modelo 206 BL, Guarulhos, Brasil) por 20 minutos a 2.500 rpm. O sobrenadante foi retirado e, após sua temperatura atingir 20°C, foram retiradas três gotas e realizadas as leituras (duplicata) dos sólidos solúveis totais, utilizando-se refratômetro de bancada (Abbe 3L da BAUSCH & LOMB, Rochester, EUA).

A firmeza da polpa da banana foi medida em texturômetro (TA-XT2, STABLE MICRO SYSTEMS, Godalming, UK) com *probe* cilíndrico de 6 mm de diâmetro, operando com o *software Texture Expert*. Foram realizados testes de penetração no centro das frutas, nas seguintes condições: velocidade de 1,0 mm/s, distância de penetração de 20 mm, de acordo com Tribess *et al.* (2009).

### **3.2 Definição das etapas prévias à secagem da banana verde**

#### **3.2.1 Descascamento das bananas**

Tratamentos térmicos (temperatura x tempo), por imersão dos frutos em água em ebulição e em vapor, foram estudados visando facilitar a remoção da casca sem promover o cozimento da polpa.

Inicialmente, foi utilizada panela de pressão comum, com 3,5 litros de água aquecidos até o início da ebulição. As bananas verdes (6 unidades, com peso total aproximado de 650 g) foram então imersas na água, a panela fechada e os frutos aquecidos durante 6, 8 ou 10 minutos. Completado o tempo pré-estabelecido, a pressão foi eliminada por resfriamento com água corrente fria. Após este último procedimento, as bananas foram descascadas manualmente para avaliação da facilidade de descascamento e cortadas com uma faca comum para avaliação do aspecto no interior dos frutos (se apresentavam características visuais de cozidos).

No processo empregando vapor, as bananas verdes foram tratadas termicamente em autoclave estática vertical (DIXIE, Athens, EUA), instalada na planta-piloto do Grupo de Engenharia e Pós-Colheita do Instituto de Tecnologia de Alimentos (GEPC/ITAL). Foram avaliados quatro diferentes processamentos definidos a partir de ensaios preliminares: (i) 130°C/45 segundos; (ii) 130°C/60 segundos; (iii) 135°C/30 segundos e (iv) 140°C/15 segundos. Em cada processamento, após completado o tempo pré-estabelecido, a entrada de vapor era interrompida e a autoclave resfriada por circulação de água fria. A temperatura em regiões específicas dos frutos (centro, próximo à casca e próximo a uma das extremidades - ponta) foi monitorada. Foram utilizados cabos com termopares de agulha tipo T, um sistema de aquisição de dados (ELLAB A/S modelo TM 9616, Roedovre, Dinamarca) e o programa computacional E-ValTM versão 2.00, para monitoramento do histórico de temperatura durante o processo. Ao fim de cada processamento, as bananas foram retiradas da autoclave, descascadas manualmente para avaliação da facilidade de descascamento e cortadas com uma faca comum para avaliação do aspecto no interior dos frutos (se apresentavam características visuais de cozidos). Com base nessas características, foi então selecionado um dos tratamentos.

### **3.2.2 Determinação das concentrações de agentes antioxidantes utilizados para a inativação enzimática**

A avaliação dos antioxidantes (ácido ascórbico - AA, ácido cítrico - AC e metabissulfito de sódio - MBS) foi executada utilizando-se planejamento fatorial completo 2<sup>3</sup>. Foram realizados 17 experimentos sendo 8 nos pontos fatoriais, 6 nos pontos axiais e 3 repetições no ponto central. A ordem dos ensaios do delineamento foi aleatória para garantir a casualização (BARROS NETO; SCARMINIO; BRUNS, 1996).

As variáveis independentes foram as quantidades de AA, AC e MBS, conforme apresentado na Tabela 4, definidas por ensaios preliminares.

As variáveis respostas foram as diferenças (em módulo) entre os valores obtidos para os parâmetros L\*, a\*, b\* da cor (sistema CIELab) para a banana

imediatamente após o descascamento e os valores obtidos após 1 hora ( $L_0^* - L_1^*$ ,  $a_0^* - a_1^*$ ,  $b_0^* - b_1^*$ ) e após 3 horas do descascamento ( $L_0^* - L_3^*$ ,  $a_0^* - a_3^*$ ,  $b_0^* - b_3^*$ ).

O programa Statistica® 5.5 (STATSOFT, Tulsa, USA) foi usado para calcular as análises de variância (ANOVA) do planejamento experimental. Após a avaliação dos resultados da análise estatística aplicada aos parâmetros de cor ( $L_0^* - L_1^*$ ,  $a_0^* - a_1^*$ ,  $b_0^* - b_1^*$ ,  $L_0^* - L_3^*$ ,  $a_0^* - a_3^*$ ,  $b_0^* - b_3^*$ ), separadamente, de acordo com o erro puro e a soma quadrática residual e dos efeitos dos fatores lineares, quadráticos e da interação foi realizada a análise de variância (ANOVA) e verificada a significância das regressões ao nível de 90% de confiança ( $p \leq 0,10$ ), utilizando o teste F. O efeito das variáveis independentes nas respostas estudadas foi avaliado pelos gráficos bi e tridimensionais traçados com esse programa. A análise dos resultados foi realizada por Metodologia de Superfície de Resposta.

As quantidades de antioxidantes referentes a cada ensaio foram pesadas em balança eletrônica analítica (SCIENTECH AS 210, Boulder, EUA), para o preparo de soluções de 1 litro que permaneceram sob agitação por 3 minutos em um banho à temperatura ambiente com agitação magnética (FISATOM, modelo 555, São Paulo, Brasil).

Em seguida, bananas nos estádios de 1 a 3 de maturação (totalmente verde a mais verde que amarelo), segundo a Escala de Maturação de Von Loesecke (Figura 2, item 2.1.3) foram descascadas, e delas retiradas amostras com um cortador cilíndrico padrão de diâmetro igual a 2,0 cm, realizando cortes transversais nas bananas. Foi realizada a análise de cor das bananas imediatamente após a retirada das cascas. As amostras obtidas foram colocadas imediatamente na solução contendo o antioxidante e mantidas durante 5 a 7 minutos. Após esse período, as amostras foram retiradas da solução e deixadas em condições ambientais. Após 1 e 3 horas, foram feitas análises de cor das amostras de cada ensaio.

A cor foi analisada com 5 repetições em espectrofotômetro (Color-Eye da MACBETH, Newburgh, EUA), a 25°C, com iluminante D65 (luz do dia) e ângulo de observação de 10°.

**Tabela 4.** Ensaio com valores codificados e reais.

ENSAIO	AA	AC	MBS	AA (mg/L)	AC (g/L)	MBS (mg/L)
1	-1	-1	-1	70,8	1,0	50,6
2	1	-1	-1	279,2	1,0	50,6
3	-1	1	-1	70,8	4,0	50,6
4	1	1	-1	279,2	4,0	50,6
5	-1	-1	1	70,8	1,0	199,4
6	1	-1	1	279,2	1,0	199,4
7	-1	1	1	70,8	4,0	199,4
8	1	1	1	279,2	4,0	199,4
9	-1,68	0	0	0,0	2,5	125,0
10	1,68	0	0	350,0	2,5	125,0
11	0	-1,68	0	175,0	0,0	125,0
12	0	1,68	0	175,0	5,0	125,0
13	0	0	-1,68	175,0	2,5	0,0
14	0	0	1,68	175,0	2,5	250
15	0	0	0	175,0	2,5	125,0
16	0	0	0	175,0	2,5	125,0
17	0	0	0	175,0	2,5	125,0

### 3.3 Avaliação do efeito das condições de secagem da banana verde nas características das farinhas obtidas

#### 3.3.1 Secagem em tambor rotativo

Bananas verdes da variedade Nanicao Jangada, cultivadas na fazenda Bernardes em Palmital – SP, foram processadas nos dias 1 a 4 após a colheita. Foram selecionados, na plantação, cachos com tamanho e desenvolvimento adequados para a colheita. As bananas foram estocadas em câmara com temperatura entre 10 e 12°C, dentro da faixa de 10 a 14°C, recomendada por Botrel, Silva e Bittencourt (2001), para o prolongamento da vida útil dos frutos frescos.

Para a retirada das cascas, as bananas foram pesadas e levadas à autoclave estática vertical (DIXIE, Athens, EUA), onde permaneceram por 30 segundos a 135°C, com base nos resultados apresentados no item 4.2.1. A seguir,

foram resfriadas na própria autoclave, utilizando-se água à temperatura ambiente. As cascas foram retiradas manualmente e pesadas. Os frutos foram cortados em rodelas e imersos por 5 a 7 minutos em solução antioxidante contendo ácido ascórbico (350 mg/L), ácido cítrico (5 g/L) e metabissulfito de sódio (125 mg/L), conforme resultados apresentados no item 4.2.2. Em seguida, foram retirados da solução, pesados e triturados com água em liquidificador basculante (SKYMSEN, modelo LAR-15, Brusque, Brasil) na proporção de 1 parte de água para 2 partes de banana (definida por testes preliminares), até a obtenção de uma pasta homogênea, que foi seca em *drum dryer* (BLAW-KNOX, modelo 9112751#2, Buffalo, EUA) com 2 rolos. A farinha obtida foi pesada para cálculo de rendimento, embalada em sacos de polietileno e, em seguida, moída em moinho de cone (MIAG, Braunschweig, Alemanha). Cada processamento foi realizado utilizando-se 12 ou 15 bananas, sendo 4 ou 5 de cada uma das seguintes regiões do cacho: superior, central e inferior.

A avaliação dos parâmetros de processo foi executada utilizando-se planejamento fatorial completo  $2^3$ . Foram realizados 19 experimentos sendo 8 nos pontos fatoriais, 6 nos pontos axiais e 5 repetições no ponto central. A ordem dos ensaios do delineamento foi aleatória para garantir a casualização (BARROS NETO; SCARMINIO; BRUNS, 1996).

A análise dos resultados foi realizada por Metodologia de Superfície de Resposta. As três variáveis independentes estudadas foram: (i) o tempo para uma rotação dos cilindros do *drum dryer* -  $\text{RPM}^{-1}$  (minutos); (ii) a pressão de vapor nos cilindros (medida em  $\text{lbf/pol}^2$  e convertida para kPa) e (iii) a distância entre os cilindros, conforme definido em testes preliminares e apresentado na Tabela 5.

As variáveis respostas foram: (i) o rendimento em farinha; (ii) o teor de umidade; (iii) a atividade de água; (iv) os parâmetros  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  de cor (sistema CIElab) e a (v) diferença entre o teor de amido resistente da matéria-prima e da farinha obtida.

As análises das amostras de farinha de banana verde foram realizadas de acordo com os seguintes métodos:

- Teor de umidade: pela secagem por 60 minutos a 130°C, de acordo com o método AOAC 925.10 (HORWITZ, 2005).
- Cor: em espectrofotômetro (Color-Eye da MACBETH, Newburgh, EUA), a 25°C, iluminante D65 e ângulo de observação: 10°. Os resultados foram apresentados no sistema CIELab.
- Atividade de água (Aw): medida diretamente em higrômetro (DECAGON, modelo CX-2, Pullman, EUA), a temperatura constante (25,0±0,3°C).
- Teor de amido resistente: de acordo método descrito em 3.1.1.2.

O programa Statistica® 5.5 (STATSOFT, Tulsa, USA) foi usado para calcular as análises de variância (ANOVA) do planejamento experimental. O efeito das variáveis independentes nas respostas estudadas foi avaliado pelos gráficos bi e tridimensionais traçados com esse programa e a análise dos resultados foi realizada por Metodologia de Superfície de Resposta.

**Tabela 5.** Ensaios com valores codificados e reais.

FORMULAÇÃO	RPM <sup>-1</sup>	Pressão de Vapor	Distância cilindros	RPM <sup>-1</sup> (min)	Pressão de Vapor (kPa)	Distância cilindros (mm)
1	-1	-1	-1	1,00	210,8	0,50
2	1	-1	-1	2,00	210,8	0,50
3	-1	1	-1	1,00	281,1	0,50
4	1	1	-1	2,00	281,1	0,50
5	-1	-1	1	1,00	210,8	0,60
6	1	-1	1	2,00	210,8	0,60
7	-1	1	1	1,00	281,1	0,60
8	1	1	1	2,00	281,1	0,60
9	-1,68	0	0	0,66	246,0	0,55
10	1,68	0	0	2,34	246,0	0,55
11	0	-1,68	0	1,50	186,9	0,55
12	0	1,68	0	1,50	305,0	0,55
13	0	0	-1,68	1,50	246,0	0,47
14	0	0	1,68	1,50	246,0	0,63
15	0	0	0	1,50	246,0	0,55
16	0	0	0	1,50	246,0	0,55
17	0	0	0	1,50	246,0	0,55
18	0	0	0	1,50	246,0	0,55
19	0	0	0	1,50	246,0	0,55

### 3.3.2 Secagem por atomização

Bananas verdes da variedade Nanicão Jangada, cultivadas na fazenda Bernardes em Palmital – SP foram processadas nos dias 1 a 11 após a colheita. As bananas foram estocadas em câmara com temperatura na faixa de 10 a 12°C (BOTREL; SILVA; BITTENCOURT, 2001).

Os processos empregados para a retirada das cascas e para a inativação enzimática foram os mesmos descritos no item 3.3.1 para a secagem da banana verde em tambor rotativo. Após o tratamento com agentes antioxidantes, as bananas foram pesadas e trituradas em liquidificador basculante (SKYMSEN, modelo LAR-15, Brusque, Brasil), com água na proporção de 1 parte de banana para 1½ parte de água, conforme definido por testes preliminares. Em seguida, a pasta foi passada por despulpador de escovas (Sterling, modelo 17 INDIANA LABORATORY FINISHER, Los Angeles, EUA) em peneira número 033, própria do equipamento.

A polpa diluída foi submetida à secagem em atomizador (*Mobile Minor NIRO ATOMIZER*, Copenhague, Dinamarca), com capacidade de 2 kg de água evaporada/hora e bico atomizador tipo centrífugo. As farinhas obtidas foram pesadas e acondicionadas em sacos de polietileno para serem posteriormente analisadas. Cada processamento foi realizado utilizando-se 12 ou 15 bananas, sendo 4 ou 5 de cada uma das seguintes regiões do cacho: superior, central e inferior.

A avaliação dos parâmetros de processo foi executada utilizando-se planejamento fatorial completo 2<sup>3</sup>. Foram realizados 18 experimentos sendo, 8 nos pontos fatoriais, 6 nos pontos axiais e 4 repetições no ponto central. A ordem dos ensaios do delineamento foi aleatória para garantir a casualização (BARROS NETO; SCARMINIO; BRUNS, 1996). As variáveis independentes estudadas foram: (i) temperatura do ar de secagem (°C), (ii) velocidade de rotação do atomizador controlada pela pressão do ar (medida em kgf/cm<sup>2</sup> e convertida para kPa) e (iii) vazão de alimentação do produto controlada por rotação da bomba de alimentação (rpm), conforme definido em testes preliminares e apresentado na

Tabela 6. A correspondência entre a pressão do ar e a velocidade de rotação do atomizador e entre a rotação da bomba e a vazão de alimentação são mostradas nas Tabelas 7 e 8.

As variáveis respostas foram: (i) o rendimento em farinha; (ii) o teor de umidade; (iii) a atividade de água; (iv) os parâmetros L\*, a\*, b\* da cor (sistema CIELab) e (v) a diferença entre o teor de amido resistente da matéria-prima no dia do processamento e das farinhas obtidas, de acordo com os métodos descritos em 3.3.1.

O programa Statistica® 5.5 (STATSOFT, Tulsa, USA) foi usado para calcular as análises de variância (ANOVA) do planejamento experimental. O efeito das variáveis independentes nas respostas estudadas foi avaliado pelos gráficos bi e tridimensionais traçados com esse programa e a análise dos resultados foi realizada por Metodologia de Superfície de Resposta.

**Tabela 6.** Ensaios com valores codificados e reais.

ENSAIO	Temp.	Pressão do ar	Rotação bomba	Temp. (°C)	Pressão do ar (kPa)	Rotação bomba (rpm)
1	-1	-1	-1	148	430	12
2	1	-1	-1	172	430	12
3	-1	1	-1	148	530	12
4	1	1	-1	172	530	12
5	-1	-1	1	148	430	16
6	1	-1	1	172	430	16
7	-1	1	1	148	530	16
8	1	1	1	172	530	16
9	-1,68	0	0	140	480	14
10	1,68	0	0	180	480	14
11	0	-1,68	0	160	400	14
12	0	1,68	0	160	560	14
13	0	0	-1,68	160	480	11
14	0	0	1,68	160	480	17
15	0	0	0	160	480	14
16	0	0	0	160	480	14
17	0	0	0	160	480	14
18	0	0	0	160	480	14

**Tabela 7.** Correspondência entre pressão do ar e velocidade de rotação do atomizador.

Pressão ar (kPa)	Veloc. atomiz. (rpm)
400	30.800
430	32.260
480	34.355
530	36.130
560	37.020

Fonte: Niro Atomizer, s.d.

**Tabela 8.** Correspondência entre rotação da bomba e vazão de alimentação.

Rotação bomba (rpm)	Vazão (mL/min)
11	12,9
12	14,7
14	18,4
16	22,0
17	23,9

### 3.4 Preparo das farinhas de banana verde por secagem em bandejas e liofilização

A partir da definição das condições otimizadas dos processos de secagem de banana verde em secador rotativo e por atomização, conforme itens 3.3.1 e 3.3.2, respectivamente, foram preparadas amostras de farinha de banana verde para comparação entre si e também com farinhas obtidas a partir da secagem em secador de bandejas e por liofilização.

Como matéria-primas, foram utilizadas bananas verdes da variedade Nanicão Jangada de quatro diferentes cachos, cultivados na fazenda Bernardes em Palmital – SP, ou seja, da mesma origem que a matéria-prima empregada nas etapas anteriores do estudo. Durante os dias de processamento, as bananas foram estocadas em câmara com temperatura na faixa de 10 a 12°C (BOTREL; SILVA; BITTENCOURT, 2001).

#### 3.4.1 Secagem em bandejas

Após tratamento térmico (135°C/30 segundos) em autoclave estática vertical (DIXIE, Athens, EUA) para a retirada das cascas, as bananas foram pesadas, cortadas em rodela de 4 mm de espessura, de acordo com Tribess *et al.* (2009), tratadas com agentes antioxidantes (350 mg/L de ácido ascórbico, 5,0 g/L de ácido cítrico e 125 mg/L de metabissulfito de sódio), dispostas em bandejas perfuradas de aço inoxidável e mantidas em secador de bandejas (PROCTOR-SCHWARTZ, Glasgow, UK) à temperatura de 55°C e velocidade do

ar de 1,4 m/s (TRIBESS *et al.*, 2009). O tempo de secagem foi de 4 a 4,5 horas (até massa constante). Após a secagem, o rendimento foi calculado e, em seguida, as bananas desidratadas foram moídas em moinho de cone (MIAG, Braunschweig, Alemanha).

### **3.4.2 Liofilização**

Após a remoção das cascas, pesagem, corte dos frutos em rodela de 4 mm de espessura e imersão em solução de agentes antioxidantes conforme item 3.4.1, as bananas foram dispostas em formas de alumínio forradas com papel manteiga e congeladas em freezer horizontal (METALFRIO, modelo HF 460, São Paulo, Brasil) a -20°C. O processo foi realizado em liofilizador (Dura-Top/Dura-Dry, modelo MP da FTS KINETICS, Stone Ridge, EUA), nas seguintes condições: temperatura da câmara de liofilização: -20°C e pressão: 14 Pa. A amostra foi considerada liofilizada ao apresentar diferença de temperatura de 2°C em relação à temperatura da câmara, o que resultou em um tempo médio de processo de 48 horas. Após serem liofilizadas, as bananas foram pesadas para cálculo do rendimento e moídas em moinho de cone (MIAG, Braunschweig, Alemanha).

## **3.5 Caracterização das farinhas de banana verde obtidas por diferentes processos**

### **3.5.1 Composição centesimal e teor de amido resistente**

As farinhas obtidas a partir dos 4 processos estudados foram caracterizadas quanto aos teores de umidade (AOAC 925.10), proteína (AOAC 920.152), lipídios (método 034/IV do Instituto Adolfo Lutz), cinzas (AOAC 940.26), fibra alimentar total (AOAC 985.29), de acordo com Horwitz (2005) e Zenebon e Pascuet (2005). O teor de amido resistente foi analisado de acordo com método descrito em 3.1.1.2.

Para a comparação com as farinhas obtidas pelos diferentes processos quanto ao teor de AR, a “biomassa de banana verde” foi preparada com base no

processo recomendado por Valle e Camargos (2003), reduzindo-se o tempo de cozimento de 20 para 10 minutos. Dez unidades de bananas verdes foram lavadas e tiveram suas pontas cortadas sem que a polpa ficasse aparente. As bananas foram levadas a uma panela de pressão com água fervente em quantidade suficiente para cobrir os frutos e cozidas por 10 minutos contados a partir do início da pressão. O cozimento foi interrompido e as cascas foram separadas das polpas. As bananas foram trituradas ainda quentes em miniprocessador de alimentos (WALITA, modelo HR 2939/00, Varginha, Brasil) até a obtenção de uma pasta homogênea que foi acondicionada em embalagem de polietileno e imediatamente congelada e mantida assim até o momento da realização da análise de amido resistente para comparação com a matéria-prima correspondente e com as farinhas obtidas no item 3.4.

### **3.5.2 Atividade de água**

A atividade de água foi medida diretamente em higrômetro (DECAGON, modelo CX-2, Pullman, EUA), à temperatura constante ( $25,0 \pm 0,3^{\circ}\text{C}$ ).

### **3.5.3 Cor CIELab**

A cor foi medida em espectrofotômetro (Color Eye 2020 Plus da MACBETH, Newburgh, EUA), com iluminante D65 (luz do dia) e ângulo de observação de  $10^{\circ}$ , com resultados expressos no sistema CIELab (parâmetros  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ).

### **3.5.4 Propriedades de pasta**

As propriedades de pasta das farinhas foram determinadas em aparelho *Rapid Visco Analyser* (modelo RVA-4 da NEWPORT SCIENTIFIC, Warriewood, Austrália), usando programa *Thermocline for Windows* versão 1.10. Cada farinha foi analisada em duplicata. Foram pesados 2,50 g de amostra (corrigidos para 14% de umidade) que foram adicionados a 25 mL de água em copo especial de alumínio. A dispersão foi feita com o agitador plástico próprio do aparelho. O conjunto copo/agitador foi

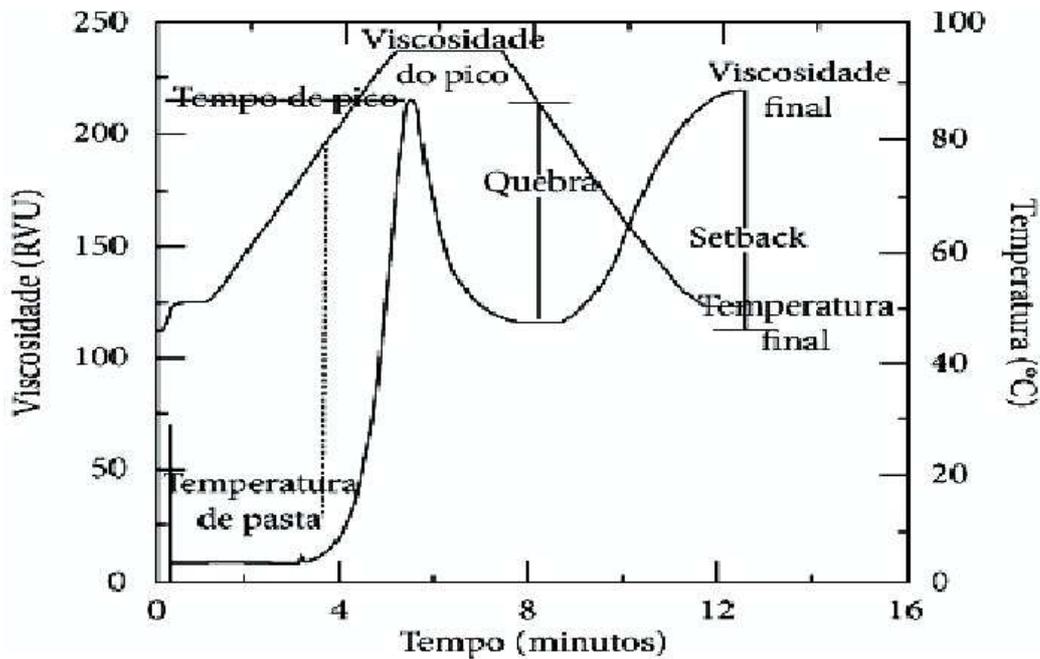
acoplado ao aparelho e o teste iniciado pelo programa Padrão 2, cujos parâmetros são apresentados na Tabela 9.

**TABELA 9.** Parâmetros definidos no programa Padrão 2 do RVA.

<b>Tempo</b>	<b>Variável</b>	<b>Valor</b>
00:00:00	temperatura	50°C
00:00:00	velocidade	960 rpm
00:00:10	velocidade	160 rpm
00:01:00	temperatura	50°C
00:08:30	temperatura	95°C
00:13:30	temperatura	95°C
00:21:00	temperatura	50°C
00:23:00	fim do teste	fim do teste

Os resultados foram interpretados a partir dos gráficos fornecidos. Os parâmetros usados para a interpretação dos resultados são mostrados na Figura 5 e foram:

- Temperatura de pasta: temperatura em °C que corresponde ao ponto onde se inicia a formação de curva no gráfico;
- Tempo de viscosidade máxima ou de pico: tempo no qual se dá a viscosidade máxima de pasta, expresso em minutos;
- Viscosidade máxima ou de pico: valor máximo de viscosidade obtido durante o teste (pico da curva), expressa em RVU;
- Viscosidade mínima: menor valor da viscosidade (expressa em RVU), após ter sido atingida a temperatura de 95°C;
- Viscosidade final: valor da viscosidade obtido no ponto final do ciclo de resfriamento, à temperatura de 50°C, expressa em RVU.
- *Breakdown* ou quebra: diferença entre a viscosidade de pico e a viscosidade mínima, expressa em RVU;
- *Setback*: diferença entre a viscosidade final e a viscosidade mínima, expressa em RVU.



**Figura 5.** Curva de viscosidade típica do RVA mostrando os parâmetros comumente analisados. Fonte: Adaptado de Newport Scientific, 1998.

### 3.5.5 Propriedades de molhabilidade e solubilidade

Segundo Peña (2003), quando um pó é colocado sobre a superfície de um líquido, os fenômenos que ocorrem são, nesta seqüência: (i) molhabilidade, que consiste na penetração do líquido para o interior da estrutura do pó devido à capilaridade; (ii) imersibilidade, que é a imersão das partículas ou de porções do pó no líquido; (iii) dispersibilidade, ou seja, a dispersão do pó no líquido; e a (iv) solubilidade, que é a dissolução das partículas pelo líquido, desde que estas sejam solúveis.

O tempo de molhamento das farinhas foi avaliado pela metodologia recomendada na legislação brasileira (BRASIL, 2006) e é definido como o tempo em que todas as partículas da amostra tornam-se umedecidas, isto é, tenham submergido, e uma eventual quantidade residual de partículas que permanecesse na superfície apresente o aspecto úmido. Em cápsula limpa e seca, foram pesados  $10 \pm 0,1$  g de amostra e, em béquer de 600 mL,  $250 \pm 0,1$  g de água

destilada a  $25 \pm 1^\circ\text{C}$ , tomando-se cuidado para que a parte interna do béquer acima do nível da água permanecesse seca. O béquer com água foi colocado em uma superfície plana e coberto com uma placa de vidro com 120 x 120 mm de lado e 2,5 cm de espessura e sobre este um tubo de vidro vazado com 65 mm de comprimento e  $80 \pm 1,8$  mm de diâmetro. A amostra foi transferida para o interior do tubo vazado e um cronômetro acionado. Após um minuto, a placa de vidro foi retirada de modo que a amostra caísse progressivamente sobre a superfície da água contida no béquer. A retirada da placa de vidro deve ser de modo contínuo e suave, sendo concluída dentro de 2,5 segundos. O béquer contendo a água e a amostra foi mantido em repouso para a observação do tempo de molhamento, calculado como:

$$T_m = T_M - 60 \quad (1)$$

Onde:  $T_m$  é o tempo de molhamento em segundos

$T_M$  é o tempo lido no cronômetro, em segundos.

A solubilidade foi determinada a  $25^\circ\text{C}$  pelo método recomendado por Ozturk, Koksel e Ng (2009). Para cada amostra, 0,5 g foram adicionados a 5 mL de água destilada em tubo de centrifuga e misturados em agitador de tubos tipo vortex (PHOENIX, Araraquara, Brasil) por 15 segundos a cada 5 minutos. Após 40 minutos, a amostra foi centrifugada em centrífuga (Excelsa II FANEM, modelo 206 BL, Guarulhos, Brasil) a  $2100 \times g$  por 10 minutos. O sobrenadante foi seco em estufa (NOVA ÉTICA, modelo 420/5D, Vargem Grande Paulista, Brasil) a  $100^\circ\text{C}$  até massa constante e a solubilidade foi calculada a partir da seguinte expressão:

$$\text{Solubilidade (\%)} = (M_s / M_a) \times 100 \quad (2)$$

Onde:  $M_s$  é a massa do sobrenadante seco (g)

$M_a$  é a massa da amostra (g)

### **3.5.6 Padrão de cristalinidade**

A determinação da cristalinidade das amostras foi realizada pela medida de difração de raios-X, realizadas em difratômetro (PHILIPS, modelo X'Pert, Eindhoven, Holanda) com tubo de cobre ( $\lambda = 1,54 \text{ \AA}$ ), empregando voltagem de 40 kV e corrente de 40 mA, instalado no Laboratório de Recursos Analíticos e de Calibração da FEQ/UNICAMP. As análises foram efetuadas empregando-se os seguintes parâmetros de operação: intervalo  $5^\circ < 2\theta < 50^\circ$ , varredura em passos de  $0,02^\circ$ , velocidade de varredura igual a  $0,033^\circ/\text{s}$  e tempo total de análise de 23 minutos.

### **3.5.7 Características morfológicas**

As características morfológicas das partículas das farinhas de banana verde foram avaliadas em microscópio eletrônico de varredura - MEV (LEO, modelo LEO 440i, Cambridge, Inglaterra), instalado no Laboratório de Recursos Analíticos e de Calibração da FEQ/UNICAMP. As amostras foram colocadas em suporte metálico apropriado para a análise no MEV e preparadas por metalização com ouro (POLARON SC7620 *Sputter Coater*, Uckfield, Inglaterra). A aquisição das imagens foi realizada pelo LEO *software*, versão 3.01.

## **3.6 Avaliação da aplicação de farinha de banana verde em pão de forma e barra de cereais**

Com base nos rendimentos de processo e nas características químicas e físicas das diferentes farinhas de banana verde, que serão discutidos posteriormente no item 4, selecionou-se a farinha preparada em secador de bandejas para a aplicação em formulação de pão de forma e de barras de cereais.

### 3.6.1 Pão de forma

Os pães foram preparados a partir das formulações apresentadas na Tabela 10. Para a formulação Padrão, foram utilizados 4 kg de farinha de trigo. Nas demais formulações, os níveis de substituição da farinha de trigo por farinha de banana verde (FBV) foram 10 e 20%.

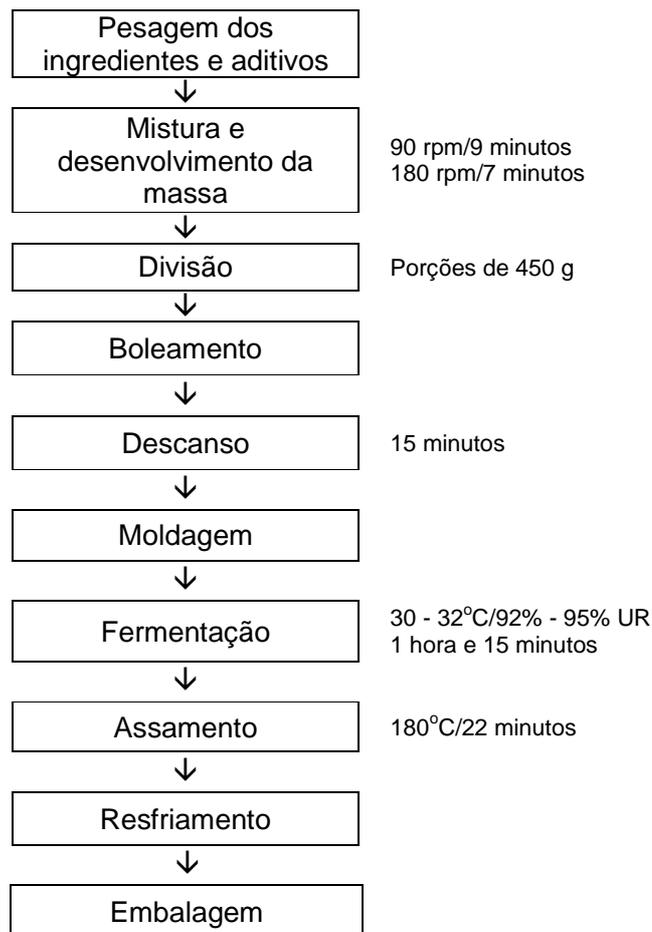
**Tabela 10.** Formulações de pão de forma empregadas no estudo.

Ingredientes	Quantidades (%) <sup>1</sup>		
	Padrão	10% FBV	20% FBV
Farinha de trigo Propan 75 Bunge	100,0	90,0	80,0
Farinha de banana verde	-	10,0	20,0
Açúcar refinado União	6,0	6,0	6,0
Sal refinado Cisne	2,0	2,0	2,0
Condicionador de massa Zea 500 Emulzint	1,0	1,0	1,0
Fermento biológico fresco Fleischmann	4,0	4,0	4,0
Gordura de palma Agropalma	7,0	7,0	7,0
Leite em pó desnatado La Sereníssima	4,0	4,0	4,0
Propionato de cálcio Arcolor	0,38	0,38	0,38
Água	54,3	53,5	53,5

<sup>1</sup>Em relação ao total de farinha de trigo.

Os pães de forma foram preparados pelo método direto modificado (Figura 6), e consistiu da mistura dos ingredientes em masseira (SUPREMA, Sumaré, Brasil) com capacidade de 12 kg e com haste tipo gancho. A mistura foi realizada em duas etapas: velocidade lenta (90 rpm) por 9 minutos e velocidade rápida (180 rpm) por 7 minutos, até completo desenvolvimento do glúten. Foi utilizada água na temperatura de 8 a 10°C, para obtenção de massa com temperatura final de 26 a 28°C. Após a mistura, a massa foi dividida manualmente em porções de 450 g, boleadas e deixadas descansar durante 15 minutos. Em seguida, os pães foram moldados em modeladora (PERFECTA, modelo C/RET, Curitiba, Brasil), colocados em formas próprias e levados à câmara de fermentação (KLIMAQUIP, Pouso Alegre, Brasil) com temperatura de 30 a 32°C e umidade relativa de 92% a 95%, onde permaneceram por 1 hora e 15 minutos, quando foi observado um

crescimento de aproximadamente 2 vezes o volume inicial da massa com a superfície suportando uma leve pressão. A seguir, os pães foram assados em forno (PERFECTA, modelo Vipinho 0448, Curitiba, Brasil), a 180°C por 22 minutos. Após a retirada das formas e resfriamento, foram embalados em sacos de polietileno e mantidos em temperatura ambiente para posteriores avaliações.



**Figura 6.** Fluxograma do processamento dos pães de forma.

As amostras de pão de forma obtidas foram analisadas quanto aos teores de umidade (método 034/IV do Instituto Adolfo Lutz), proteína (AOAC 950.36), lipídios (AOAC 935.38), cinzas (AOAC 923.03), fibra alimentar total (AOAC 985.29), de acordo com Horwitz (2005) e Zenebon e Pascuet (2005). O teor de amido resistente foi determinado de acordo com método descrito em 3.1.1.2.

Os pães também foram analisados quanto à/ao:

- Volume específico por deslocamento de sementes de colza em medidor volumétrico para pães (VONDEL, modelo VDMV-03/MVP-1300, São José dos Pinhais, Brasil);
- Cor em espectrofotômetro (Cary 50 VARIAN, Clayton South, Austrália) com dispositivo Barrelinho e software para avaliação de cor Varian Cary WinUV. A análise foi feita à temperatura ambiente com iluminante D65 e ângulo de observação de 10° e os resultados apresentados no sistema CIELab (parâmetros L\*, a\*, b\*);
- Dureza nos dias 1, 5, 9, 13 e 16 após o processamento em texturômetro (TA-XT2 STABLE MICRO SYSTEMS, Godalming, UK), operando com o *software Texture Expert*, modo de operação: medida de força em compressão, *probe* cilíndrico P35, nas seguintes condições: velocidade de pré-teste: 1,0 mm/s; de teste: 1,7 mm/s; velocidade de pós-teste: 10,0 mm/s; distância de 40%.
- Aceitação com 54 consumidores de pães de forma (MEILGAARD *et al.* 2006), com idade variando de 18 a 55 anos, pertencentes às classes sociais A, B e C. De acordo com projeto aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da PUC – Campinas (Anexo 1), os consumidores foram recrutados pessoalmente, indicando o produto que seria avaliado. A todos foi apresentado o “Termo de Consentimento Livre e Esclarecido”, onde havia uma explicação sobre o projeto e o produto a ser avaliado (Apêndice 1). Os voluntários que manifestaram interesse e consentimento participaram da avaliação. As amostras foram avaliadas quanto à aceitabilidade de modo global, aparência, aroma, sabor, maciez e sabor que fica na boca (sabor residual), por meio de escala hedônica de nove pontos (9 = gostei muitíssimo, 5 = não gostei nem desgostei e 1 = desgostei muitíssimo). Foi solicitado aos consumidores que descrevessem o que mais gostaram e menos gostaram em cada amostra e que indicassem a intenção de compra (5 = certamente compraria, 3 = talvez compraria/talvez não compraria e 1 = certamente não compraria) (MEILGAARD *et al.*, 2006). O modelo da ficha de avaliação utilizada é apresentado no Apêndice 2. A análise sensorial foi conduzida segundo delineamento de blocos completos balanceados, em cabines

individuais equipadas com o sistema computadorizado *Compusense Five* versão 4.8 para coleta e análise dos dados, utilizando iluminação de lâmpadas fluorescentes. As amostras foram apresentadas de forma monádica sequencial em guardanapos descartáveis, identificadas com códigos de três dígitos numéricos aleatórios. Com o objetivo de limpar o palato, foi disponibilizada aos julgadores água mineral natural, para uso antes e entre as amostras. Além das questões relacionadas à avaliação dos produtos, os consumidores responderam a questões sobre tipos de pães de forma consumidos, frequência de consumo e características pessoais relacionadas à idade e definição de classe social segundo o Critério Padrão de Classificação Econômica Brasil 2008 (ABEP, 2007).

### 3.6.2 Barras de cereais

Partindo-se de uma formulação de barra de cereais e pelos experimentos preliminares, foram definidos quais dos ingredientes comumente empregados no produto poderiam ser substituídos por FBV e em quais níveis. Na Tabela 11, são apresentadas a formulação padrão e as formulações com 10% e 20% de FBV em substituição à aveia em flocos finos e em flocos laminados, aos flocos de arroz e de milho e à banana passa. Nas três formulações, a proporção entre a fase sólida e a solução ligante foi de 1:1.

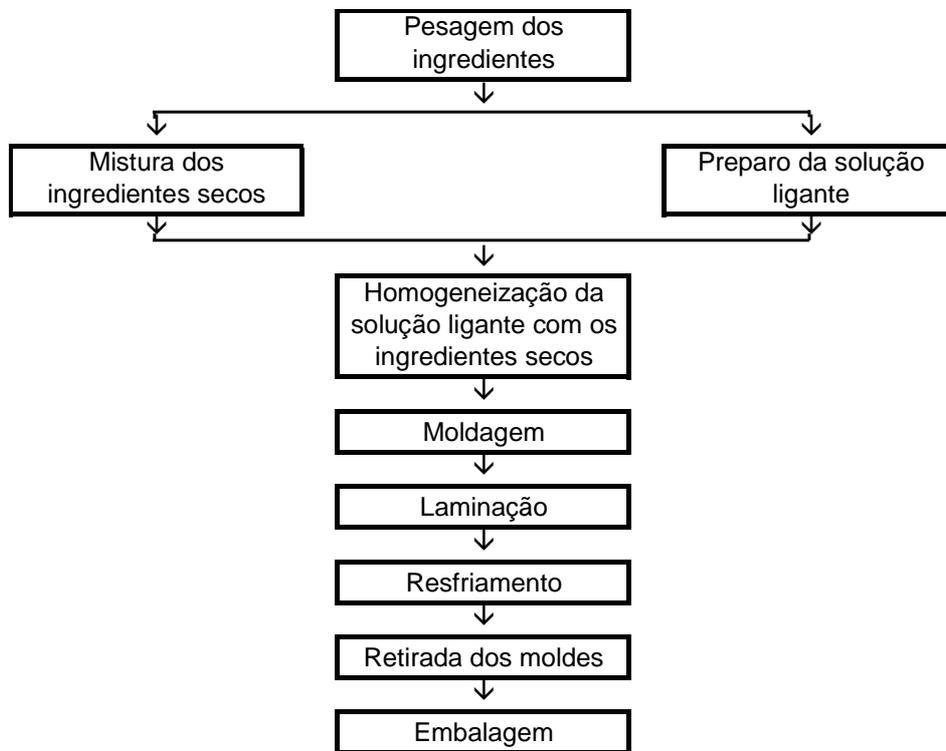
O procedimento utilizado para a fabricação das barras de cereais seguiu as etapas apresentadas na Figura 7.

Para cada uma das formulações, foram preparados 450 g de fase sólida e 450 g de solução ligante. Os ingredientes da fase sólida foram homogeneizados e a solução ligante foi preparada pelo aquecimento sob agitação manual até a completa dissolução dos açúcares e ponto de cozimento adequado (85°Brix/105°C). Os sólidos solúveis foram medidos em refratômetro (ATAGO, modelo 500/9418 C-85%, Tóquio, Japão) e a temperatura com termômetro graduado (INCOTERM, modelo 70996/03, Porto Alegre, Brasil).

Após a homogeneização da solução ligante aos ingredientes secos, a formatação das barras de cereais foi feita com auxílio de moldes de alumínio (Figura 8a) e rolos de polietileno confeccionados especificamente para a laminação das barras. Cada um dos moldes utilizados dá origem a 15 barras de cereais, com dimensões de 90 x 30 x 10 mm (Figura 8b). Ainda nos moldes, as barras eram envolvidas em filme de PVC e levadas à geladeira por aproximadamente 30 minutos para o abaixamento da temperatura até a faixa de 25 a 28°C, quando então as barras eram retiradas dos moldes e embaladas com filme de poliéster/alumínio/polietileno, com auxílio de seladora (SELOVAC, modelo 200 – S, São Paulo, Brasil).

**Tabela 11.** Formulações de barra de cereais empregadas no estudo.

Ingredientes	Quantidades (%)		
	Padrão	10% FBV	20% FBV
<b>Fase sólida</b>			
Aveia em flocos finos Natu's	2,5	-	-
Aveia em flocos laminados Natu's	17,5	12,5	10,0
Farinha de banana verde	-	10,0	20,0
Flocos de arroz Jerrys	12,5	10,0	7,5
Flocos de milho Nestlé	7,5	7,5	5,0
Banana passa Gransabor	10,0	10,0	7,5
<b>Subtotal</b>	<b>50,0</b>	<b>50,0</b>	<b>50,0</b>
<b>Solução ligante</b>			
Xarope de glicose Arcolor	34,0	34,0	34,0
Açúcar líquido invertido (60% inversão) Guarani	10,0	10,0	10,0
Açúcar mascavo peneirado Lowçucar	2,5	2,5	2,5
Gordura vegetal Mesa	2,5	2,5	2,5
Lecitina de soja Solec SG Solae	0,65	0,65	0,65
Sal refinado Cisne	0,25	0,25	0,25
Aroma de banana SN 900099 IFF	0,10	0,10	0,10
<b>Subtotal</b>	<b>50,0</b>	<b>50,0</b>	<b>50,0</b>



**Figura 7.** Fluxograma do processamento das barras de cereais.



**Figura 8.** Molde empregado para a formatação (a) e barras de cereais após laminação, resfriamento e retirada dos moldes (b).

As amostras obtidas foram analisadas quanto aos teores de umidade (método 034/IV do Instituto Adolfo Lutz), proteína (AOAC 950.36), lipídios (AOAC

935.38), cinzas (AOAC 923.03), fibra alimentar total (AOAC 985.29), de acordo com Horwitz (2005) e Zenebon e Pascuet (2005). O teor de amido resistente foi determinado de acordo com método descrito em 3.1.1.2.

As barras de cereais também foram analisadas quanto à:

- Atividade de água medida diretamente em higrômetro (DECAGON, modelo CX-2, Pullman, EUA), à temperatura constante ( $25,0 \pm 0,3^{\circ}\text{C}$ ).
- Dureza em texturômetro (TA-XT2, STABLE MICRO SYSTEMS, Godalming, UK), operando com o *software Texture Expert*, modo de operação: medida de força em compressão, *probe* HDP/KS5 *Kramer Shear Cell* nas seguintes condições: velocidades de pré-teste e de teste: 2,0 mm/s; velocidade de pós-teste: 10,0mm/s; distância de 90%. Para não exceder o limite do equipamento (25.000 gf), as barras foram reduzidas no comprimento para 4 cm para que fossem comprimidas apenas por 3 das 5 lâminas do *probe*.
- Aceitação com 54 consumidores de barras de cereais (MEILGAARD *et al.* 2006), com idade variando de 18 a 55 anos, pertencentes às classes sociais A, B e C. De acordo com projeto aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da PUC – Campinas (Anexo 1), os consumidores foram recrutados pessoalmente, indicando o produto que seria avaliado. A todos foi apresentado o “Termo de Consentimento Livre e Esclarecido”, onde havia uma explicação sobre o projeto e o produto a ser avaliado (Apêndice 1). Os voluntários que manifestaram interesse e consentimento participaram da avaliação. As amostras foram avaliadas quanto à aceitabilidade de modo global, aparência, aroma, sabor e textura, por meio de escala hedônica de nove pontos (9 = gostei muitíssimo, 5 = não gostei nem desgostei e 1 = desgostei muitíssimo). Foi solicitado aos consumidores que descrevessem o que mais gostaram e menos gostaram em cada amostra e que indicassem a intenção de compra (5 = certamente compraria, 3 = talvez compraria/talvez não compraria e 1 = certamente não compraria) (MEILGAARD *et al.*, 2006). O modelo da ficha de avaliação utilizada é apresentado no Apêndice 3. A análise sensorial foi conduzida segundo delineamento de blocos completos balanceados em cabines individuais equipadas com o sistema computadorizado *Compusense Five* versão

4.8 para coleta e análise dos dados, utilizando iluminação de lâmpadas fluorescentes. As amostras foram apresentadas de forma monádica sequencial em guardanapos descartáveis, identificadas com códigos de três dígitos numéricos aleatórios. Com o objetivo de limpar o palato, foi disponibilizada aos julgadores água mineral natural, para uso antes e entre as amostras. Além das questões relacionadas à avaliação dos produtos, os consumidores responderam a questões sobre frequência de consumo de barras de cereais e características pessoais relacionadas à idade e definição de classe social segundo o Critério Padrão de Classificação Econômica Brasil 2008 (ABEP, 2007).

### **3.7 Análise estatística**

Os dados obtidos na caracterização das variedades de banana, das farinhas de banana verde obtidas pelos diferentes processos e dos pães de forma e das barras de cereais adicionados ou não de FBV foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e ao teste de Tukey para determinação da diferença significativa entre as médias utilizando-se o programa SAS – *Statistical Analysis System* (SAS, Cary, USA).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 A banana verde como matéria-prima

#### 4.1.1 Caracterização de três variedades de banana no estágio verde e definição da matéria-prima a ser empregada no estudo

##### 4.1.1.1 Composição centesimal

A caracterização das bananas verdes das variedades Nanicao Jangada, Williams e Grand Naine quanto à composição centesimal é mostrada na Tabela 12. Com exceção do teor de proteína, não houve diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre as três variedades avaliadas. Embora estatisticamente significativa, a diferença entre o teor de proteína da variedade Williams e das demais variedades é pequena, considerando que a banana não é uma fonte importante de proteína.

**Tabela 12.** Composição centesimal das 3 variedades de banana no estágio verde (base seca).

Determinações	Variedade			D.M.S.
	Nanicao Jangada	Williams	Grand Naine	
Umidade <sup>1</sup> (g/100g)	73,28 ± 0,67 <sup>a</sup>	72,25 ± 1,60 <sup>a</sup>	72,86 ± 0,49 <sup>a</sup>	2,05
Proteína <sup>1</sup> - Nx6,25 (g/100g)	4,65 ± 0,10 <sup>b</sup>	4,84 ± 0,30 <sup>a</sup>	4,59 ± 0,08 <sup>b</sup>	0,15
Lipídios <sup>1</sup> (g/100g)	0,30 ± 0,01 <sup>a</sup>	0,17 ± 0,20 <sup>a</sup>	0,31 ± 0,02 <sup>a</sup>	0,22
Cinzas <sup>1</sup> (g/100g)	2,97 ± 0,22 <sup>a</sup>	3,02 ± 0,34 <sup>a</sup>	2,85 ± 0,06 <sup>a</sup>	0,47
Fibra Alimentar Insolúvel <sup>1</sup> (g/100g)	4,66 ± 0,84 <sup>a</sup>	5,39 ± 0,28 <sup>a</sup>	4,46 ± 0,20 <sup>a</sup>	1,04
Fibra Alimentar Solúvel <sup>1</sup> (g/100g)	1,21 ± 0,19 <sup>a</sup>	1,26 ± 0,48 <sup>a</sup>	1,51 ± 0,44 <sup>a</sup>	0,78
Fibra Alimentar Total <sup>1</sup> (g/100g)	5,88 ± 1,04 <sup>a</sup>	6,65 ± 0,76 <sup>a</sup>	5,97 ± 0,25 <sup>a</sup>	1,49
Carboidratos <sup>2</sup> (g/100g)	86,20 ± 0,77 <sup>a</sup>	85,32 ± 1,32 <sup>a</sup>	86,29 ± 0,27 <sup>a</sup>	1,77

<sup>1</sup>Resultados expressos como média ± desvio padrão de 4 determinações (2 das bananas das primeiras pencas e 2 das bananas das últimas pencas). <sup>2</sup>Calculado por diferença: 100-(proteína+lipídios+cinzas+fibra alimentar total). D.M.S.: diferença mínima significativa ao nível de erro de 5% pelo Teste de Tukey. Em cada linha, médias seguidas de letras iguais não diferem significativamente entre si ao nível de erro de 5%.

#### 4.1.1.2 Teor de amido resistente

Os resultados médios dos teores de amido resistente são mostrados na Tabela 13. Não houve diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre as três variedades de banana avaliadas.

Decidiu-se utilizar a Nanicão Jangada na seqüência do trabalho, pois é a variedade que predomina na região em que as amostras foram coletadas.

**Tabela 13.** Teor de amido resistente das três variedades de banana no estágio verde (base seca).

Determinações	Variedade			D.M.S.
	Nanicão Jangada	Williams	Grand Naine	
Amido Resistente (g/100g)	70,98 ± 5,38 <sup>a</sup>	69,39 ± 4,67 <sup>a</sup>	70,28 ± 3,00 <sup>a</sup>	5,63

Resultados expressos como média ± desvio-padrão de 8 determinações (4 das bananas das primeiras pencas e 4 das bananas das últimas pencas). D.M.S.: diferença mínima significativa ao nível de erro de 5% pelo Teste de Tukey. Em cada linha, médias seguidas de letras iguais não diferem significativamente entre si ao nível de erro de 5%.

#### 4.1.2 Avaliação do teor de amido resistente ao longo do tempo

Na Figura 9, são apresentados os teores de AR dos diferentes lotes de banana Nanicão Jangada, utilizados como matéria-prima nos processamentos de secagem realizados nos dias subseqüentes à colheita.

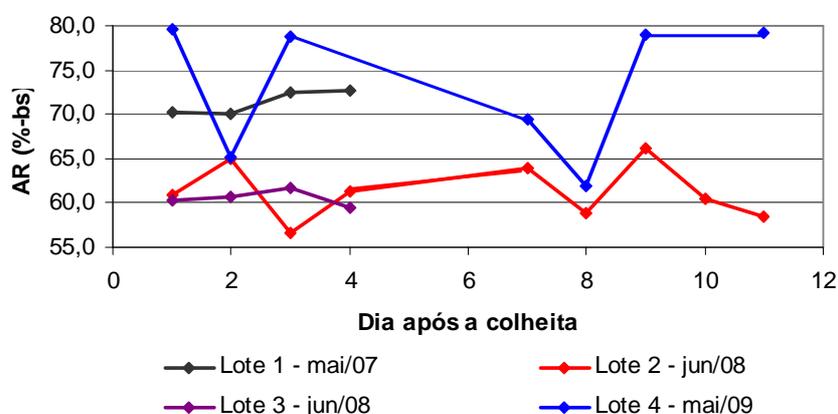
Não houve variação considerável no teor de AR das bananas verdes do lote 1 entre os dias 1 a 4 após a colheita. Nestes dias, os teores de AR foram próximos aos apresentados na Tabela 13 para amostras de banana verde com um dia após a colheita.

Nos lotes 2 e 3, o teor de AR variou de 56,61% a 66,11% entre os dias 1 e 11 após a colheita. Esses valores são inferiores aos do lote 1 e aos apresentados na Tabela 13 mas são compatíveis com os obtidos por Cardenette (2006) para banana Nanica verde (51,3% e 53,5%, respectivamente, para a fruta homogeneizada em água e fatiada em água).

Embora mostrando uma considerável variação ao longo dos dias, as bananas do lote 4 apresentaram os maiores valores de AR (entre 62,0% e 79,7%).

Não se observa na Figura 9 uma tendência de redução do teor de AR, portanto, pode-se dizer que no período e nas condições em que foram estocadas (10 a 12°C), as bananas não apresentaram maturação significativa a ponto de reduzir o teor de AR em função da transformação do amido em açúcares, que é, de acordo com Bleinroth (1995), a alteração mais perceptível que ocorre durante a maturação da banana, devido à ação das enzimas amilolíticas.

Para um mesmo lote, a diferença no teor de AR ao longo dos dias se deve, provavelmente, a diferenças entre os cachos analisados. Quanto à diferença entre os lotes, embora as bananas sejam da mesma variedade (Nanicão Jangada) e local de plantio, a época e as condições de plantio e de colheita podem ter influenciado no teor de AR. Portanto, concluiu-se que seria mais preciso avaliar o efeito dos processos de secagem na perda relativa de AR, analisando a matéria-prima empregada em cada dia de processamento.



**Figura 9.** Teor de amido resistente de diferentes lotes de banana verde usada como matéria-prima.

#### 4.1.3 Avaliação da firmeza e dos sólidos solúveis ao longo do tempo

Os resultados da firmeza e dos sólidos solúveis das bananas do lote 4 (maio/2009) nos dias 1, 4, 7 e 9 após a colheita, apresentados na Tabela 14, são

característicos de frutos “totalmente verdes”, o que corresponde ao primeiro estágio de maturação, conforme resultados obtidos por Tribess *et al.* (2009) e por Ditchfield (2004) apud Tribess *et al.* (2009): 26 N de firmeza e 3,5 a 5°Brix. Para frutos no segundo estágio de maturação, Ditchfield (2004) apud Tribess *et al.* (2009) encontrou firmeza de 14 N e sólidos solúveis de 7°Brix, valores, aproximadamente 50% abaixo e acima dos encontrados neste trabalho, respectivamente. A redução da firmeza ao longo da maturação ocorre devido à ação enzimática que transforma parcialmente a protopectina da rígida membrana celular em pectina solúvel, resultando no amolecimento das células da membrana. Ao mesmo tempo, o amido é transformado pelas enzimas em açúcares solúveis que se dispersam na matéria sólida presente no interior da célula formando uma massa semi-sólida e macia e aumentando os sólidos solúveis do fruto (BLEINROTH, 1995).

**Tabela 14.** Firmeza e sólidos solúveis totais (°Brix) das bananas nos dias 1, 4, 7 e 9 após a colheita.

<b>Dia de processamento após a colheita</b>	<b>Força (N)*</b>	<b>° Brix</b>
1	28,1 ± 1,2	3,5
4	30,5 ± 1,4	3,8
7	32,2 ± 1,8	3,5
9	27,0 ± 1,2	4,0

\*Resultados expressos como média ± desvio padrão de 5 determinações.

## 4.2 Definição das etapas prévias à secagem da banana verde

### 4.2.1 Descascamento das bananas

Na metodologia empregada para a retirada da casca utilizando-se panela de pressão comum, verificou-se que após o aquecimento durante 6 e 8 minutos, as cascas das bananas ainda permaneciam bastante aderidas à polpa. Com aquecimento por 10 minutos, a remoção manual das cascas foi viável, porém o interior dos frutos adquiriu aspecto de cozido, indicando a ocorrência de

gelatinização e, conseqüentemente, a redução do teor de amido resistente (ZHANG *et al.*, 2005).

Decidiu-se utilizar uma autoclave estática a vapor uma vez que esse equipamento promove um rápido aumento de temperatura e, em seguida, um rápido resfriamento, possibilitando o aquecimento somente da região próxima à casca e preservando o interior do fruto. Nas Figuras de 10 a 13, são apresentados alguns dos gráficos de temperatura em regiões específicas dos frutos (centro, próximo à casca e ponta) para os tratamentos térmicos que, em testes preliminares, apresentaram os melhores resultados em termos de facilidade de remoção da casca e aspecto visual do interior dos frutos. Esses gráficos mostram a temperatura das bananas desde que foram colocadas na autoclave, até o final da etapa de resfriamento com água. Em todos eles, pode-se observar um aumento rápido da temperatura na região próxima à casca e, em seguida, um decréscimo de temperatura também bastante rápido. Na Tabela 15, são apresentados, para cada um dos tratamentos estudados, os tempos médios em que a temperatura na região próxima à casca ficou acima de 70°C e as temperaturas máximas atingidas nessa região e na região central dos frutos. Segundo Mota *et al.* (2000), a temperatura de gelatinização do amido da banana verde da variedade Nanicão, determinada por calorimetria diferencial de varredura (DSC), está na faixa de 70,3°C a 86,1°C. Nos quatro tratamentos estudados, como o tempo em que o amido ficou exposto a essa faixa de temperatura foi baixo, pode-se inferir que, se houve gelatinização, esta foi apenas parcial.

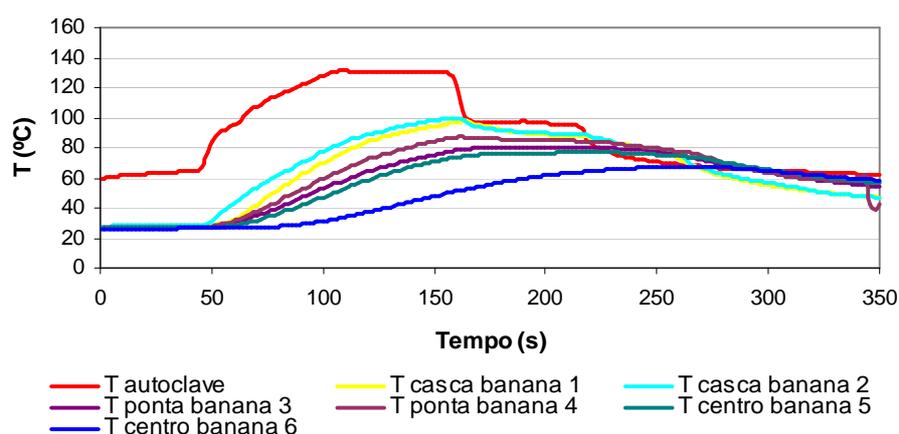
**Tabela 15.** Tempos médios à temperatura acima de 70°C na região próxima à casca e temperaturas máximas atingidas nessa região e na região central dos frutos dos tratamentos térmicos em autoclave.

Tratamento térmico	Tempo a T > 70°C próximo à casca (min)	Máxima temperatura atingida (°C)	
		Próximo à casca	Centro
130°C/ 45 seg.	2,8	100	77
130°C/ 60 seg.	4,2	107	77
135°C/ 30 seg.	1,3	103	56
140°C/ 15 seg.	1,5	106	58

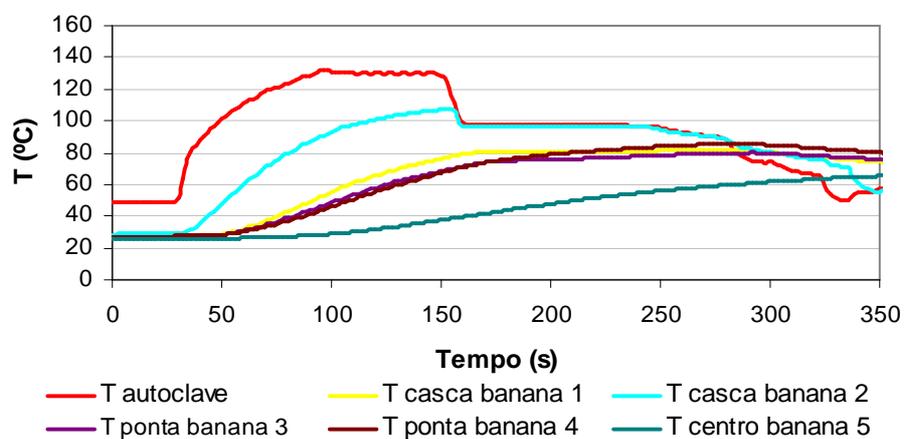
Em todos os processamentos, o descascamento manual ocorreu facilmente. Após corte dos frutos em rodela, verificou-se que o tratamento a 135°C/30 segundos foi o que apresentou a menor área (próxima à casca) com aspecto de cozido. Decidiu-se, então, pela aplicação do tratamento a 135°C/30 segundos na seqüência do trabalho. Na Figura 14, pode-se verificar o aspecto da banana tratada termicamente a 135°C/30 segundos, antes e após a remoção da casca.

A perda de AR especificamente na etapa de descascamento não foi estudada, pois o objetivo era avaliar o efeito dos processos de secagem como um todo. Assim, na definição de um processo industrial, após a seleção do equipamento a ser empregado para o tratamento térmico, um estudo de sua otimização é imprescindível para que a gelatinização e, conseqüentemente, a perda de amido resistente sejam mínimas também nesta etapa do processo.

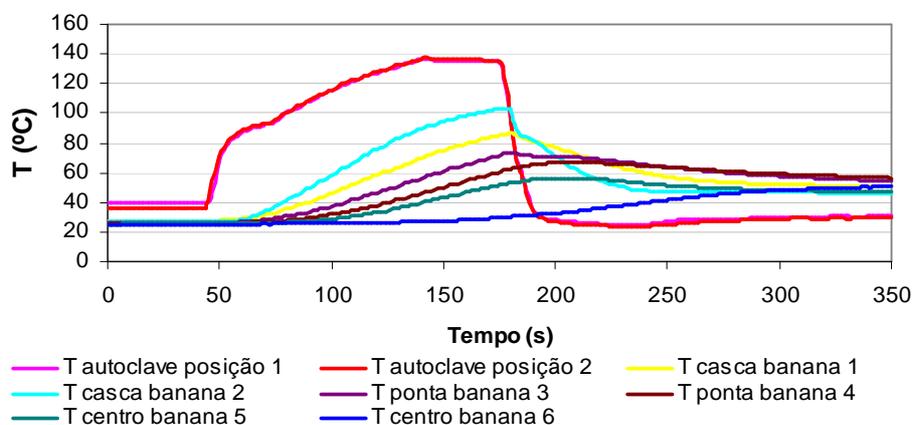
O emprego de tratamento térmico nesta etapa do processo se justifica, por facilitar a remoção da casca, muito aderida à polpa nos frutos no estágio verde (SUNTHARALINGAM; RAVINDRAN, 1993, MUYONGA; RAMTEKE; EIPESON, 2001), viabilizando assim o uso industrial desta matéria-prima.



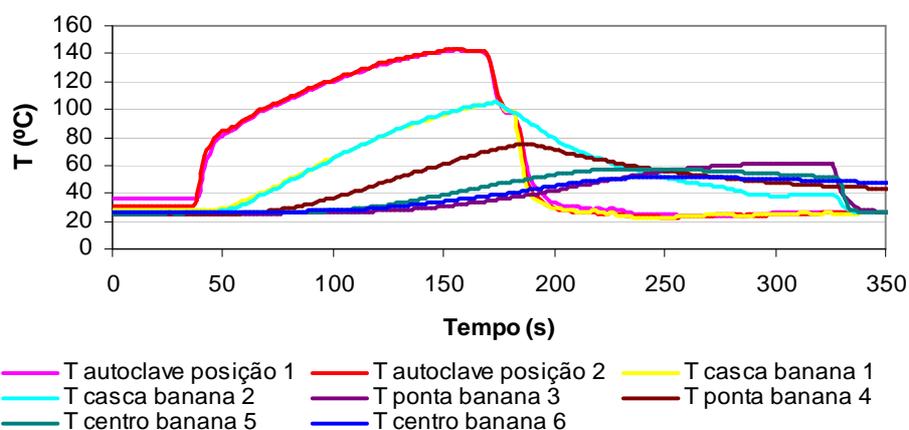
**Figura 10.** Perfil de temperatura em várias posições da banana durante o tratamento térmico a 130°C/45 segundos.



**Figura 11.** Perfil de temperatura em várias posições da banana durante o tratamento térmico a 130°C/60 segundos.



**Figura 12.** Perfil de temperatura em várias posições da banana durante o tratamento térmico a 135°C/30 segundos.



**Figura 13.** Perfil de temperatura em várias posições das bananas durante o tratamento térmico a 140°C/15 segundos.



(a)



(b)

**Figura 14.** Aspecto da banana tratada termicamente a 135°C/30 segundos: antes (a) e após a remoção da casca (b).

#### 4.2.2 Inativação enzimática: Determinação das concentrações de agentes antioxidantes

As médias dos resultados das análises de cor (parâmetros  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ ) das bananas verdes imediatamente após descascamento (tempo 0) e após 1 e 3 horas do tratamento com agentes antioxidantes são mostradas na Tabela 16. Verifica-se que, ao longo do tempo, a banana sofreu um leve escurecimento, com ligeiro aumento do tom vermelho ( $+a^*$ ) e diminuição do tom amarelo ( $+b^*$ ). A luminosidade ( $L^*$ ) no tempo zero variou de 67,15 a 79,39, enquanto que, após 1

hora, variou de 61,97 a 79,18 e, após 3 horas de tratamento, a variação foi de 58,57 a 80,81. O parâmetro  $a^*$  apresentou variação de 0,83 a 3,51 no tempo zero, e variação de 1,92 a 4,82, após 3 horas de tratamento. Quanto ao tom amarelo, a variação foi de 19,25 a 28,35 no tempo 0 e de 16,01 a 23,86 após 3 horas.

No Apêndice 4, é apresentada a análise estatística dos dados obtidos a partir deste planejamento experimental. Os modelos de regressão significativos e os respectivos coeficientes de determinação são apresentados na Tabela 17.

Para  $L_0^* - L_1^*$  e  $L_0^* - L_3^*$ , os modelos apresentaram regressões significativas ao nível de 90% de confiança ( $F_{\text{calculado}}$  superior ao  $F_{\text{tabelado}}$ ). Os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) evidenciaram que os modelos explicaram, respectivamente, 92,0% e 70,6% da variação dos dados experimentais. Uma possível causa para a menor explicação da variação dos resultados experimentais pelo modelo proposto para  $L_0^* - L_3^*$  é que, durante a exposição das rodela de banana por um período de 3 horas, a cor foi alterada também por oxidação dos pigmentos, reação que ocorre independentemente da inativação da PFO.

De acordo com Box e Wetz (1973) *apud* Barros Neto, Scarminio e Bruns (1996), para que uma regressão seja não apenas estatisticamente significativa, mas também útil para fins preditivos,  $F_{\text{calculado}}$  deve ser no mínimo de quatro a cinco vezes o valor de  $F_{\text{tabelado}}$ , condição amplamente satisfeita pelos modelos propostos para  $L_0^* - L_1^*$  e para  $L_0^* - L_3^*$ , cujos valores de  $F_{\text{calculado}}$  foram 7,7 e 6,2 vezes maiores, respectivamente, que os valores de  $F_{\text{tabelado}}$ .

Na avaliação do modelo proposto para  $L_0^* - L_1^*$ , pode-se verificar que as três variáveis estudadas apresentaram efeito na resposta, ou seja, o aumento dos teores dos três antioxidantes estudados provocou diminuição no valor do atributo medido, o que significa a manutenção da luminosidade das rodela de banana durante o período de 1 hora. Para  $L_0^* - L_3^*$ , o ácido ascórbico não apresentou efeito estatisticamente significativo.

A análise dos efeitos das variáveis independentes para  $a_0^* - a_1^*$  mostrou que o único termo estatisticamente significativo ( $p \leq 0,10$ ) foi o termo linear do ácido cítrico (Apêndice 4, Tabela A4.3). Os erros padrão dos demais coeficientes foram altos,

próximos ou até mesmo maiores que os próprios coeficientes dos modelos. A ANOVA (Apêndice 4, Tabela A4.4) mostrou que a porcentagem de variação explicada pela regressão foi baixa (31,3%), indicando que não houve um bom ajuste dos valores experimentais ao modelo.

Pela ANOVA, verificou-se que, ao nível de 90% de confiança ( $p \leq 0,10$ ) e com  $R^2$  iguais a 57,3%, 81,0% e 61,0%, para as respostas  $b_0^* - b_1^*$ ,  $a_0^* - a_3^*$  e  $b_0^* - b_3^*$ , respectivamente, houve falta de ajuste dos modelos da regressão propostos, ou seja,  $F_{\text{calculado}}$  foi maior que  $F_{\text{tabelado}}$  para a falta de ajuste. Isso mostra que essas variáveis dependentes, dentro das condições estudadas, não representam respostas importantes para avaliação da influência das quantidades de antioxidantes na cor da banana verde após uma e três horas.

Pela análise das superfícies de resposta geradas pelos modelos para  $L_0^* - L_1^*$  e  $L_0^* - L_3^*$  (Figuras 15 e 16), verifica-se que, pelo emprego dos valores máximos de AA (350 mg/L) e de AC (5,0 g/L) e o valor central de MBS (125 mg/L), a alteração da luminosidade da banana verde é mínima durante um período de até 3 horas após a remoção das cascas. Essas concentrações foram empregadas na seqüência deste trabalho, na etapa que antecedeu a secagem pelos diferentes métodos aplicados.

**Tabela 16.** Valores das análises de cor das bananas imediatamente após o descascamento (tempo 0) e 1 e 3 horas após o tratamento com os agentes antioxidantes.

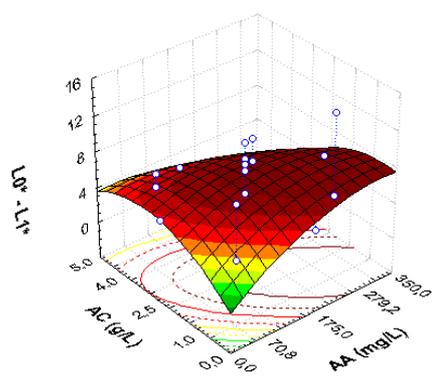
ENSAIO	AA <sup>1</sup> (mg/L)	AC <sup>2</sup> (g/L)	MBS <sup>3</sup> (mg/L)	Tempo 0			Após 1 Hora			Após 3 Horas		
				L <sub>0</sub> *	a <sub>0</sub> *	b <sub>0</sub> *	L <sub>1</sub> *	a <sub>1</sub> *	b <sub>1</sub> *	L <sub>3</sub> *	a <sub>3</sub> *	b <sub>3</sub> *
1	70,8	1,0	50,6	69,56	2,09	24,57	62,54	3,62	22,79	58,85	4,82	23,86
2	279,2	1,0	50,6	75,17	0,83	19,48	61,97	2,92	20,90	60,72	4,32	23,51
3	70,8	4,0	50,6	71,44	1,68	23,16	67,57	1,98	19,65	64,52	2,93	20,43
4	279,2	4,0	50,6	70,54	2,60	24,83	67,51	2,33	19,30	64,91	2,92	20,48
5	70,8	1,0	199,4	70,04	1,29	19,69	70,44	1,55	16,36	68,64	2,17	16,01
6	279,2	1,0	199,4	77,79	2,22	19,47	75,68	2,84	19,33	76,69	3,15	18,85
7	70,8	4,0	199,4	75,41	2,25	20,73	73,18	2,20	18,25	75,42	1,92	19,33
8	279,2	4,0	199,4	73,68	1,89	19,25	73,76	2,18	17,75	71,70	2,90	19,98
9	0,0	2,5	125	79,39	2,46	19,93	76,10	2,90	19,23	76,04	3,27	19,34
10	350	2,5	125	76,92	2,54	20,89	74,73	2,35	17,84	75,15	2,30	21,89
11	175	0,0	125	67,15	3,51	28,35	64,15	3,76	24,02	58,57	4,32	21,78
12	175	5,0	125	78,74	2,26	19,70	79,18	1,81	18,94	80,81	2,60	20,36
13	175	2,5	0	71,93	1,34	20,79	63,20	2,27	21,46	64,38	4,43	23,32
14	175	2,5	250	69,87	1,38	21,01	67,95	1,37	19,80	68,50	2,45	22,13
15	175	2,5	125	70,25	1,29	20,50	65,26	2,31	20,98	62,72	2,86	20,96
16	175	2,5	125	73,79	1,44	19,86	67,23	1,61	20,30	66,08	2,80	21,64
17	175	2,5	125	71,82	1,27	20,37	65,95	1,81	20,60	66,92	2,67	21,01

<sup>1</sup>Ácido ascórbico. <sup>2</sup>Ácido cítrico. <sup>3</sup>Metabissulfito de sódio.

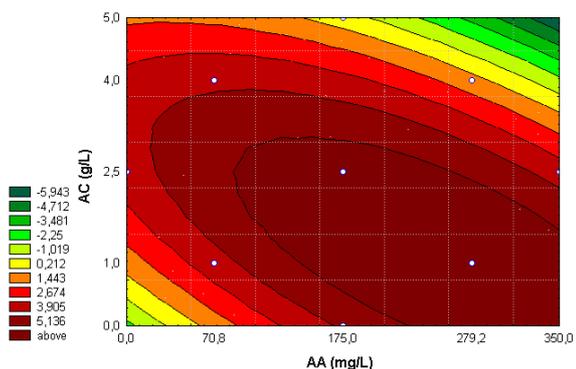
**Tabela 17.** Modelos de regressão com as variáveis codificadas e coeficientes de determinação ( $R^2$ ) para as variáveis respostas que apresentaram modelos significativos e preditivos.

RESPOSTA	MODELO*	$R^2$
$L_0^* - L_1^*$	$L_0^* - L_1^* = 5,79 - 0,89 (x_1)^2 - 1,37 x_2 - 1,41 (x_2)^2 - 2,54 x_3 - 1,48 x_1 x_2 + 1,72 x_2 x_3$	92,0%
$L_0^* - L_3^*$	$L_0^* - L_3^* = 4,87 - 2,27 x_2 - 3,20 x_3$	70,6%

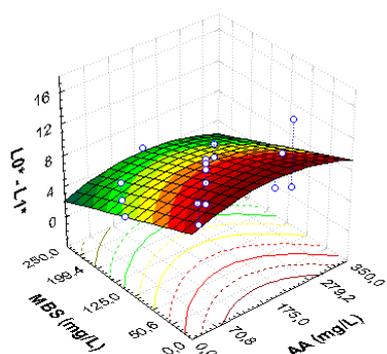
$L_0 - L_1$  = diferença entre o valor obtido para o parâmetro  $L^*$  imediatamente após o descascamento da banana e o valor obtido após 1 hora do descascamento;  $L_0 - L_3$  = diferença entre o valor obtido para o parâmetro  $L^*$  imediatamente após o descascamento da banana e o valor obtido após 3 horas do descascamento;  $x_1$  = teor de ácido ascórbico (mg/L);  $x_2$  = teor de ácido cítrico (g/L) e  $x_3$  = teor de metabissulfito de sódio (mg/L).  $p \leq 0,10$  (nível de probabilidade pelo Teste F).



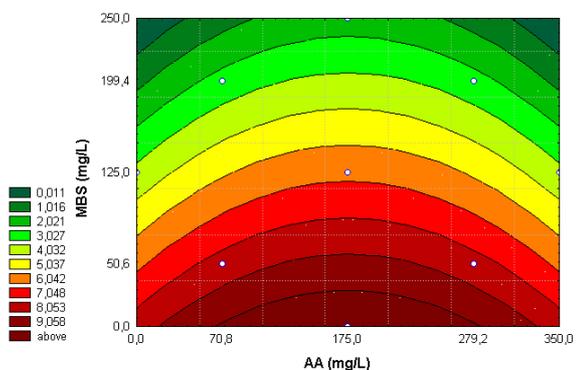
(a)



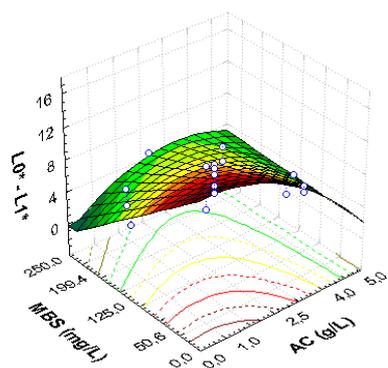
(b)



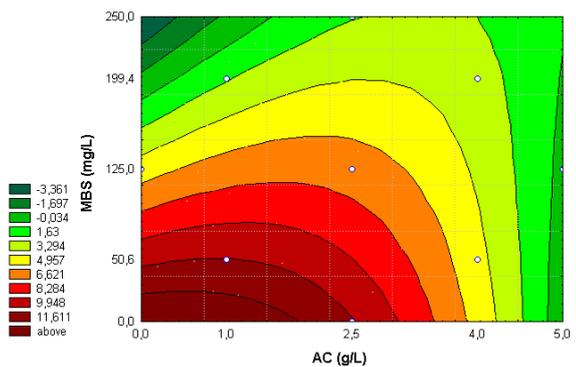
(c)



(d)

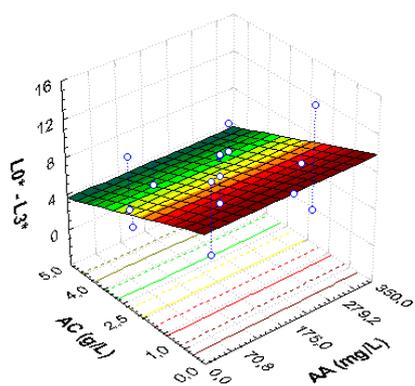


(e)

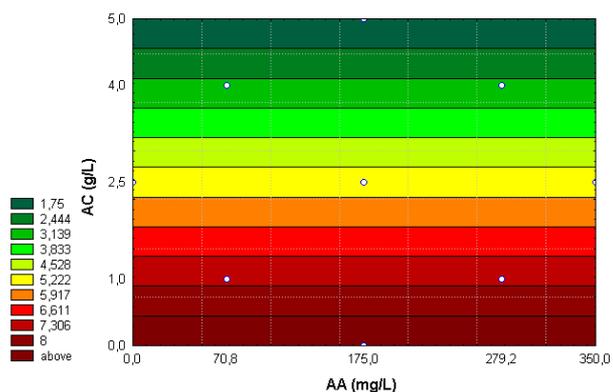


(f)

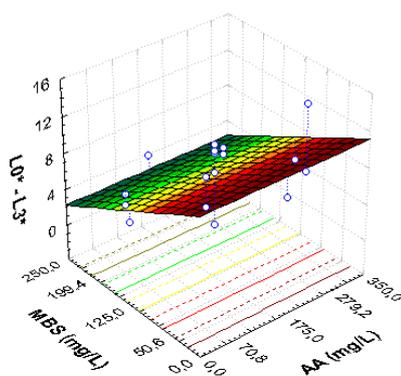
**Figura 15.** Superfícies de resposta e curvas de contorno para a resposta  $L_0^* - L_1^*$  em função dos teores de AA e AC (a) e (b), AA e MBS (c) e (d) e AC e MBS (e) e (f). A terceira variável foi mantida no ponto central.



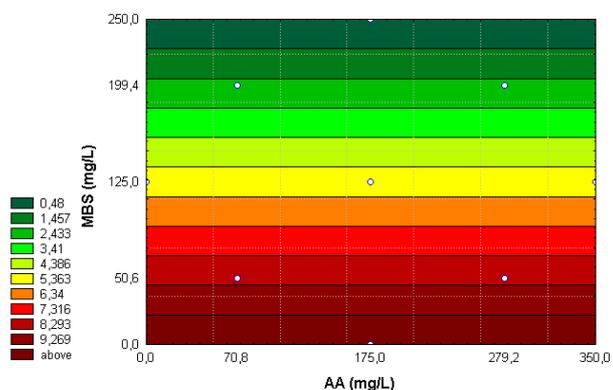
(a)



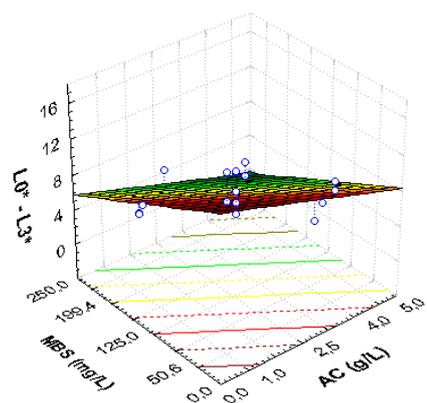
(b)



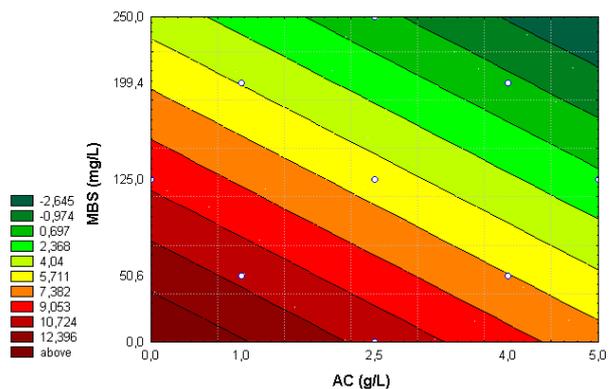
(c)



(d)



(e)



(f)

**Figura 16.** Superfícies de resposta e curvas de contorno para a resposta  $L_0^* - L_3^*$  em função dos teores de AA e AC (a) e (b), AA e MBS (c) e (d) e AC e MBS (e) e (f). A terceira variável foi mantida no ponto central.

### **4.3 Avaliação do efeito das condições de secagem da banana verde nas características das farinhas obtidas**

#### **4.3.1 Secagem em tambor rotativo**

Os valores de rendimento em farinha e das análises de umidade, atividade de água, cor (parâmetros  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ ), teor de amido resistente e da sua perda em relação à matéria-prima das amostras de farinha de banana verde obtidas em secador de tambor rotativo, são mostradas na Tabela 18.

Excetuando-se o ensaio 5, cuja amostra não tinha característica de produto farináceo devido à umidade excessiva, o rendimento em farinha neste estudo variou de 21,2% a 28,7%. A maior parte dos ensaios (80%) teve rendimentos inferiores a 25,5%, valor também obtido por Suntharalingam e Ravindran (1993) para farinha de banana verde da variedade Monthan processada em secador de bandejas.

Quanto ao teor de umidade, a legislação brasileira pela Resolução RDC nº 263 de 22 de setembro de 2005, estabelece como requisito específico para farinhas o teor máximo de umidade de 15g/100g (BRASIL, 2005). Neste estudo, com exceção do ensaio 5, as demais amostras apresentaram umidade abaixo desse valor, com 84% delas abaixo de 10% de umidade.

Com o objetivo de evitar o desenvolvimento de microorganismos, Troller (1980) recomenda atividade de água inferior a 0,60. Com exceção do ensaio 5, que apresentou  $A_w$  superior a 0,80 e do ensaio 9, com  $A_w$  de exatamente 0,60, todas as amostras deste planejamento apresentaram valores bem inferiores ao recomendado.

A análise estatística dos dados obtidos a partir deste planejamento experimental é mostrada no Apêndice 5. Os modelos de regressão significativos e os respectivos coeficientes de determinação são apresentados na Tabela 19.

**Tabela 18.** Rendimentos, teores de umidade, atividade de água, parâmetros de cor, teores e perda de AR das amostras de farinha de banana verde obtidas em secador de tambor rotativo.

Ensaio	RPM <sup>-1</sup> (min)	Pressão de Vapor (kPa)	Distância cilindros (mm)	Rendimento (%, base polpa)	Umidade (%)	Aw	Cor			AR (% bs)	Perda AR (% bs)
							L*	a*	b*		
1	1,00	210,8	0,50	24,19	9,52 ± 0,01	0,456 ± 0,002	77,99	5,75	23,72	3,34 ± 0,09	95,25
2	2,00	210,8	0,50	21,70	3,34 ± 0,04	0,146 ± 0,010	73,23	6,09	24,49	3,13 ± 0,05	95,69
3	1,00	281,1	0,50	22,48	5,06 ± 0,11	0,268 ± 0,010	77,71	4,48	24,16	3,18 ± 0,06	95,46
4	2,00	281,1	0,50	22,13	3,56 ± 0,06	0,159 ± 0,060	71,89	7,38	25,42	2,95 ± 0,07	95,93
5	1,00	210,8	0,60	36,79	15,99 ± 0,58	0,843 ± 0,021	61,81	9,15	27,77	8,54 ± 0,03	87,84
6	2,00	210,8	0,60	22,49	4,17 ± 0,02	0,318 ± 0,005	72,47	6,17	26,36	2,95 ± 0,03	95,94
7	1,00	281,1	0,60	27,16	11,14 ± 0,17	0,509 ± 0,003	78,39	6,04	22,80	3,32 ± 0,12	95,26
8	2,00	281,1	0,60	22,63	3,38 ± 0,06	0,139 ± 0,031	73,21	6,53	26,79	3,03 ± 0,14	95,82
9	0,66	246,0	0,55	28,71	13,19 ± 0,13	0,600 ± 0,110	77,17	6,63	23,33	3,14 ± 0,16	95,68
10	2,34	246,0	0,55	22,92	3,47 ± 0,09	0,137 ± 0,006	72,32	5,74	24,49	2,98 ± 0,03	95,89
11	1,50	186,9	0,55	23,21	5,88 ± 0,11	0,288 ± 0,005	77,01	4,89	25,80	2,72 ± 0,03	96,12
12	1,50	305,0	0,55	26,05	3,80 ± 0,06	0,144 ± 0,005	75,02	5,86	25,80	2,91 ± 0,04	95,84
13	1,50	246,0	0,47	22,15	4,37 ± 0,10	0,179 ± 0,013	75,44	5,49	24,92	3,20 ± 0,03	95,42
14	1,50	246,0	0,63	24,81	7,04 ± 0,30	0,340 ± 0,005	75,47	5,69	25,78	3,33 ± 0,03	95,24
15	1,50	246,0	0,55	21,17	5,47 ± 0,01	0,275 ± 0,006	75,63	5,35	25,49	3,18 ± 0,03	95,48
16	1,50	246,0	0,55	23,47	5,15 ± 0,34	0,370 ± 0,009	75,73	6,02	26,36	3,30 ± 0,03	95,29
17	1,50	246,0	0,55	24,00	6,85 ± 0,00	0,397 ± 0,009	73,75	6,47	25,74	3,00 ± 0,02	95,72
18	1,50	246,0	0,55	25,19	5,19 ± 0,05	0,230 ± 0,007	74,74	5,72	25,22	2,84 ± 0,04	95,94
19	1,50	246,0	0,55	24,89	6,62 ± 0,09	0,369 ± 0,013	74,74	6,07	25,78	3,11 ± 0,08	95,71

As variáveis *rendimento em farinha*, *umidade* e *atividade de água* apresentaram regressões significativas ao nível de 90% de confiança ( $F_{\text{calculado}}$  superior ao  $F_{\text{tabelado}}$ ) com coeficientes de determinação ( $R^2$ ) iguais a 71,12%, 95,65%, 81,69% (Apêndice 5, Tabelas A5.2, A5.4, A5.6). Na avaliação dos modelos propostos, verifica-se que a redução do tempo de rotação dos cilindros e o aumento da distância entre eles propiciam o aumento do rendimento do processo, maior umidade e atividade de água no produto obtido, uma vez que o produto seca menos. A pressão de vapor não teve efeito no rendimento, mas apresentou efeito negativo na umidade e atividade de água, ou seja, quanto menor a pressão de vapor, menor a temperatura na superfície dos cilindros e, conseqüentemente, maior a umidade e atividade de água do produto. O efeito similar das variáveis independentes nestas três respostas era esperado uma vez que, nos processos de secagem, existe correlação entre a umidade, a atividade de água do produto e o rendimento do processo, ou seja, quanto maior o grau de desidratação, menor a atividade de água e teor de umidade do produto resultante e, conseqüentemente, menor é o rendimento do processo.

Para o *parâmetro L\** (cor CIELab), o modelo proposto pela regressão apresentou coeficiente de determinação de 66,04% e falta de ajuste significativo ( $F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado}}$  para a falta de ajuste), não devendo ser usado para fins preditivos.

A ANOVA para os *parâmetros a\** e *b\** (Apêndice 5, Tabelas A5.10 e A5.12) mostrou que as regressões são significativas ao nível de 90% de confiança e que os modelos propostos explicaram, respectivamente, 69,79% e 76,71% da variação dos dados experimentais, embora visualmente, não tenha sido verificada diferença de tonalidade perceptível entre as amostras dos diferentes ensaios.

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.

Em relação à *perda de amido resistente*, verificou-se que somente o termo quadrático da pressão de vapor não apresentou efeito estatisticamente significativo (Apêndice 5, Tabela A5.13). Porém, a ANOVA mostrou que a

regressão não foi significativa, ou seja, não houve um bom ajuste dos valores experimentais ao modelo. A possível causa da falta de ajuste foi a elevada perda de AR em todos os ensaios (entre 95% e 96%), o que resultou em farinhas com teores de AR na faixa de 2,7% e 3,3% (excetuando-se o ensaio 5, o ponto fatorial mais brando do planejamento, com 8,5% de AR). Como a matéria-prima utilizada apresentava no mínimo 70% de AR, pode-se concluir que todos os ensaios afetaram igualmente e de forma negativa a resistência do amido presente na matéria-prima.

**Tabela 19.** Modelos de regressão com as variáveis codificadas e coeficientes de determinação ( $R^2$ ) para as variáveis respostas que apresentaram modelos significativos e preditivos.

RESPOSTA	MODELO*	$R^2$
Rend. em farinha	$REND = 24,53 - 2,30x_1 + 1,69x_3 + 1,49x_1x_2 - 2,00x_1x_3$	71,12%
Umidade	$UMID = 5,74 - 3,20 x_1 + 1,04x_1^2 - 0,98x_2 + 1,30x_3 + 1,09x_1x_2 - 1,49x_1x_3$	95,65%
Atividade de água	$Aw = 0,32 - 0,15x_1 - 0,07x_2 + 0,08x_3 - 0,06x_1x_3$	81,69%
Parâmetro a*	$a^* = 5,90 + 0,25 x_1^2 + 0,33 x_3 + 0,75x_1x_2 - 0,72x_1x_3 - 0,35x_2x_3$	69,79%
Parâmetro b*	$b^* = 25,70 + 0,48x_1 - 0,59x_1^2 + 0,54x_3 + 0,74x_1x_2 - 0,74x_2x_3$	76,71%

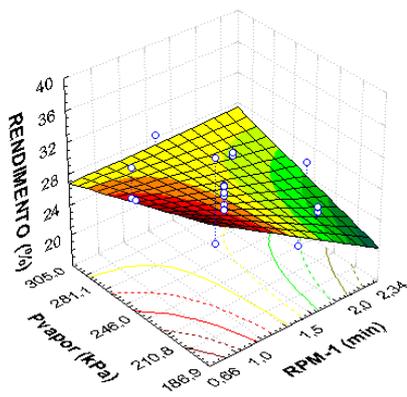
$x_1$ =RPM<sup>-1</sup> (min);  $x_2$ =pressão de vapor nos cilindros (kPa);  $x_3$ =distância entre os cilindros (mm); \*  $p \leq 0,10$  (nível de probabilidade pelo Teste F).

Nas Figuras 17 a 21, são mostradas as superfícies de resposta e curvas de contorno dos modelos propostos para as respostas: rendimento em farinha, umidade, atividade de água e parâmetros a\* e b\*.

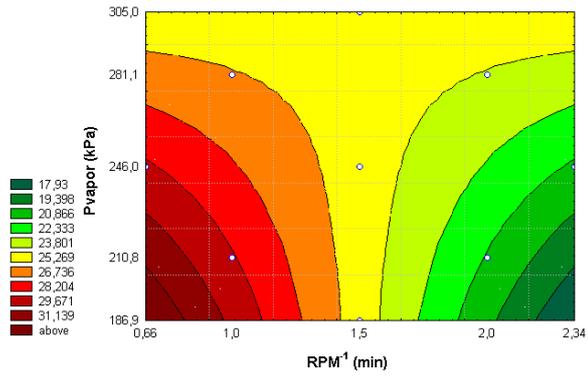
Na avaliação conjunta das respostas rendimento em farinha, umidade e atividade de água, verifica-se que, dentro da faixa estudada, as condições para a secagem da banana verde em tambor rotativo, visando a obtenção de farinhas com atividade de água inferior a 0,6, umidade próxima de 10% e com o máximo rendimento, são:

- tempo de rotação dos cilindros: 1 minuto;
- pressão de vapor: 246 kPa;
- distância entre os cilindros: 0,55 mm.

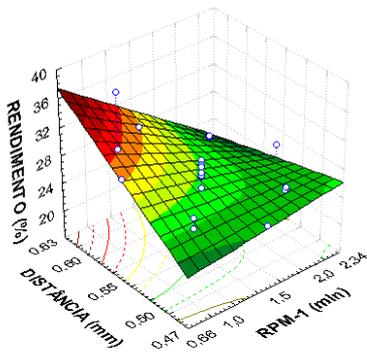
É importante salientar que, por tratar-se de um tratamento térmico bastante severo, a secagem da banana verde em tambor rotativo não é adequada quando a meta é preservar o amido resistente presente na matéria-prima, objetivo principal deste estudo. Porém, por este processo, pode-se obter farinha pré-gelatinizada para o emprego em diversos produtos alimentícios. A funcionalidade tecnológica desta farinha ainda precisa ser estudada, porém, do ponto de vista econômico, pode ser uma opção para o uso da banana verde, cujo índice de perda no Brasil é bastante elevado.



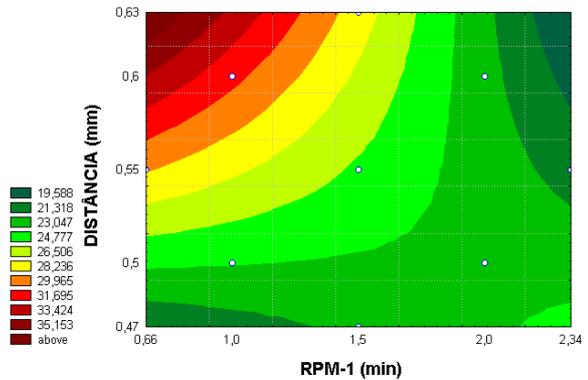
(a)



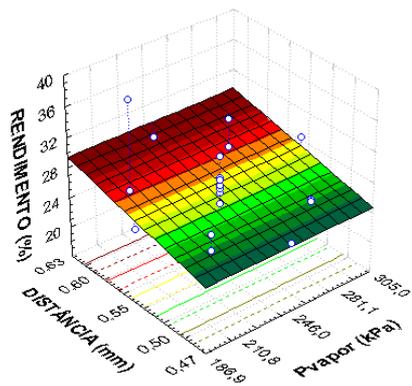
(b)



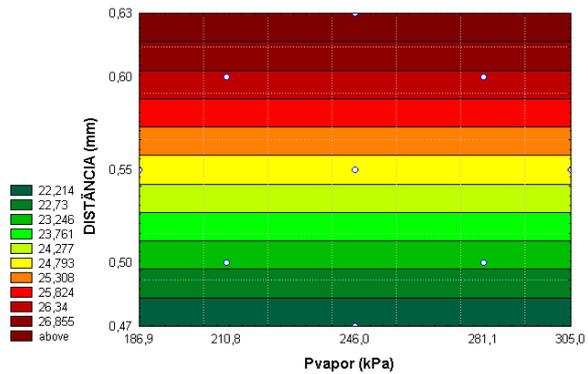
(c)



(d)

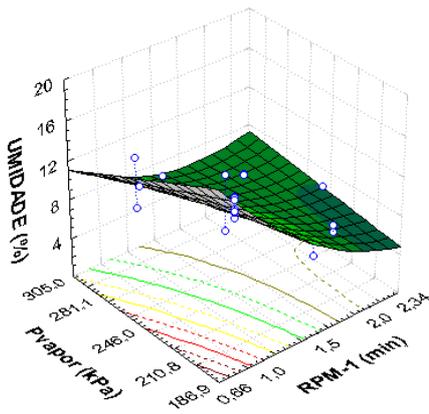


(e)

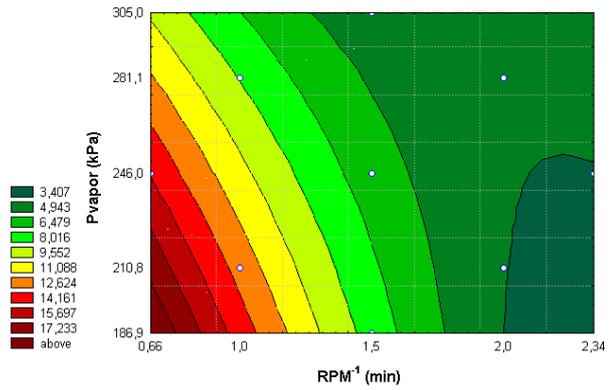


(f)

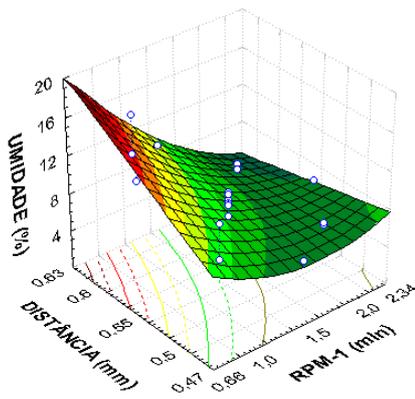
**Figura 17.** Superfícies de resposta e curvas de contorno para a resposta *rendimento em farinha* em função do tempo e da pressão do vapor (a) e (b), do tempo e da distância entre os cilindros (c) e (d) e em função da pressão de vapor e da distância entre os cilindros (e) e (f). A terceira variável foi mantida no ponto central.



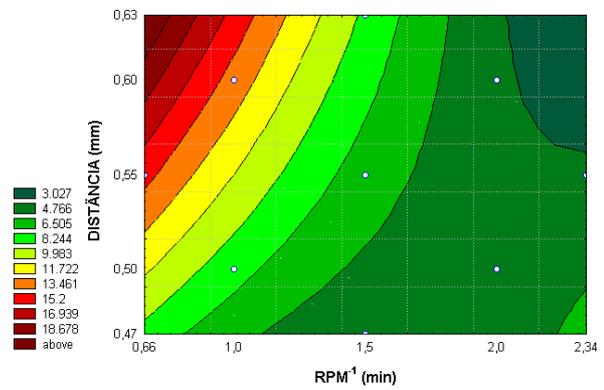
(a)



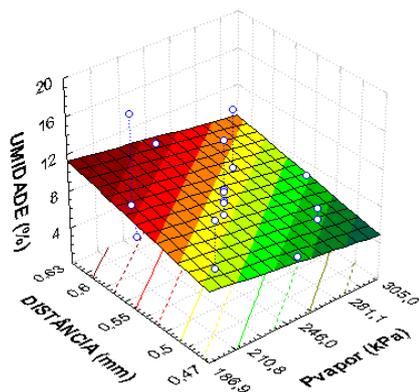
(b)



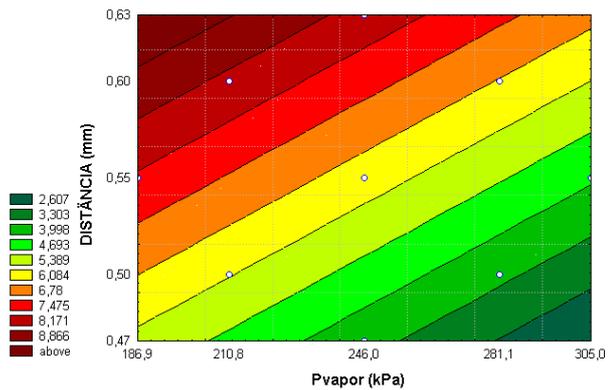
(c)



(d)

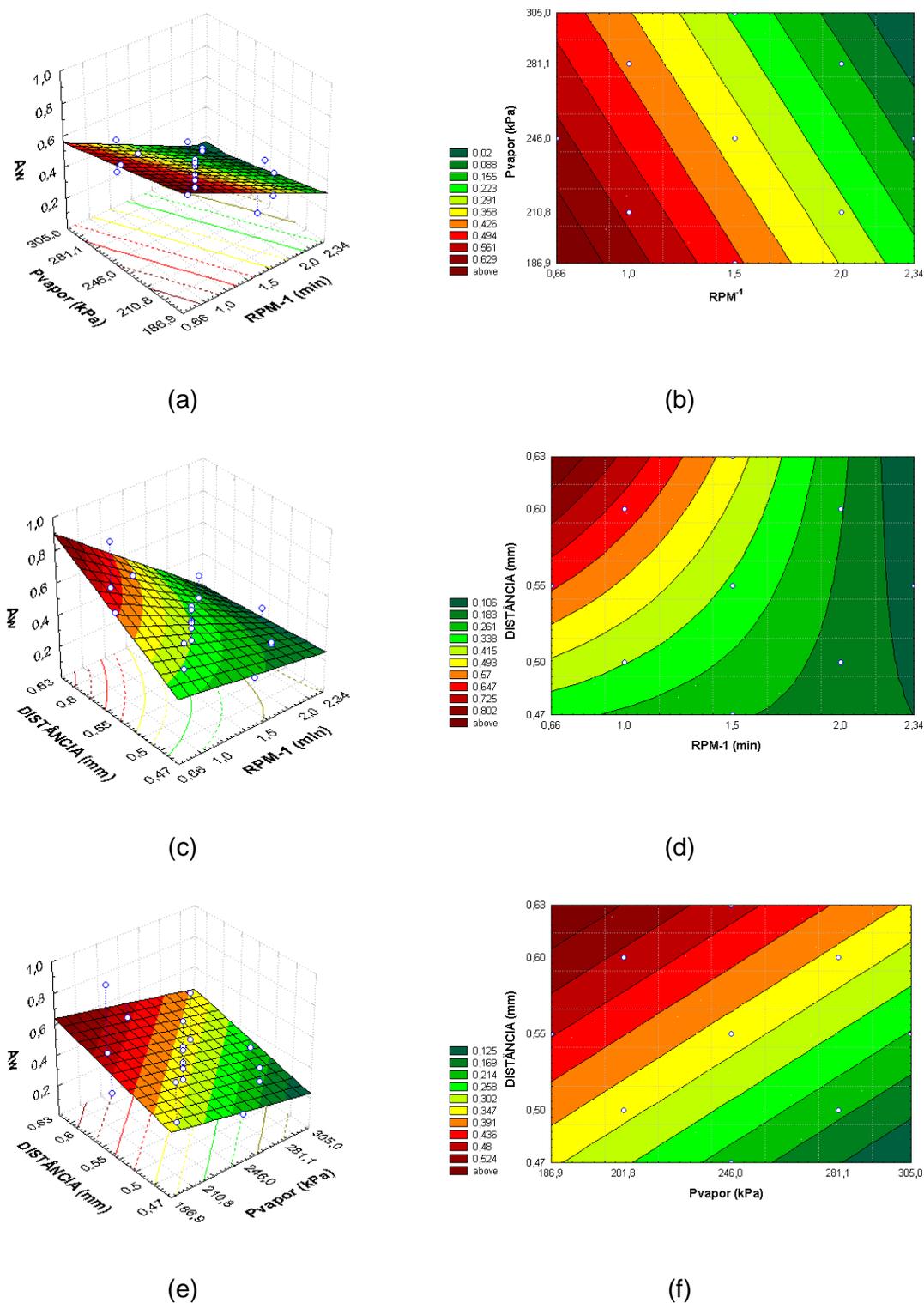


(e)

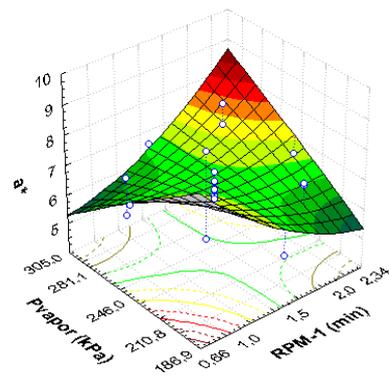


(f)

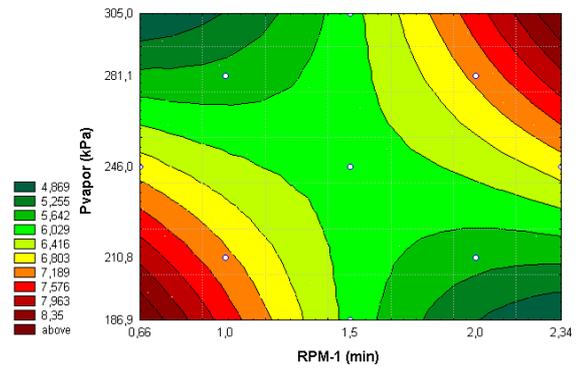
**Figura 18.** Superfícies de resposta e curvas de contorno para a resposta *umidade* em função do tempo e da pressão do vapor (a) e (b), do tempo e da distância entre os cilindros (c) e (d) e em função da pressão de vapor e da distância entre os cilindros (e) e (f). A terceira variável foi mantida no ponto central.



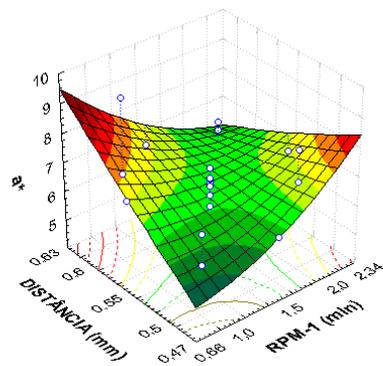
**Figura 19.** Superfícies de resposta e curvas de contorno para a resposta *atividade de água* em função do tempo e da pressão do vapor (a) e (b), do tempo e da distância entre os cilindros (c) e (d) e em função da pressão de vapor e da distância entre os cilindros (e) e (f). A terceira variável foi mantida no ponto central.



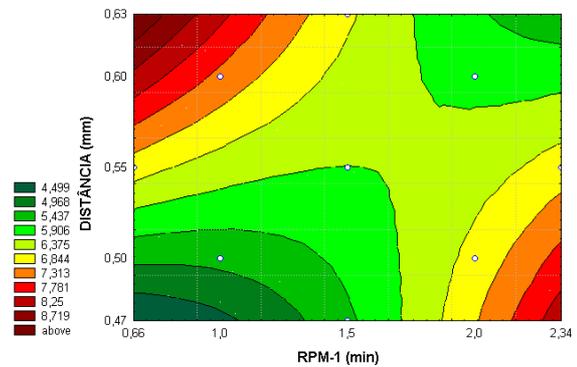
(a)



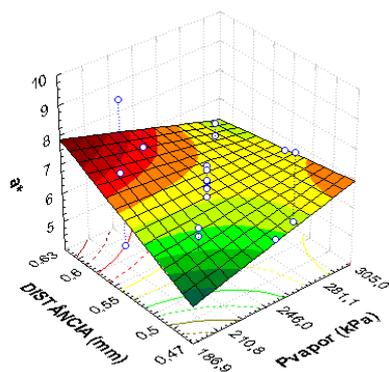
(b)



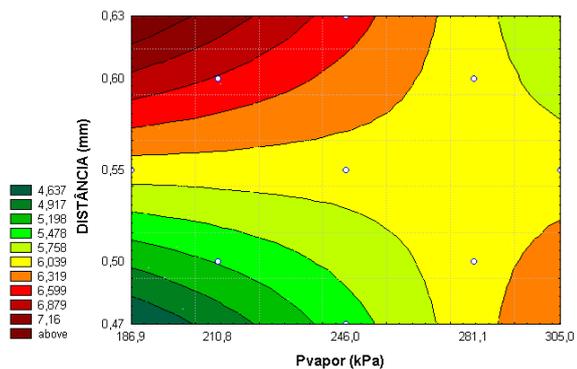
(c)



(d)

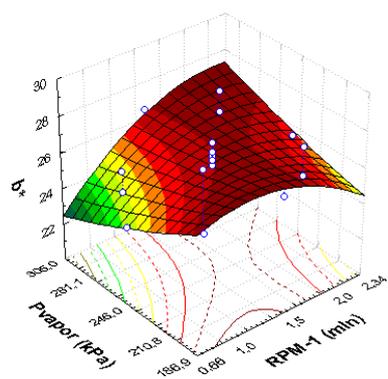


(e)

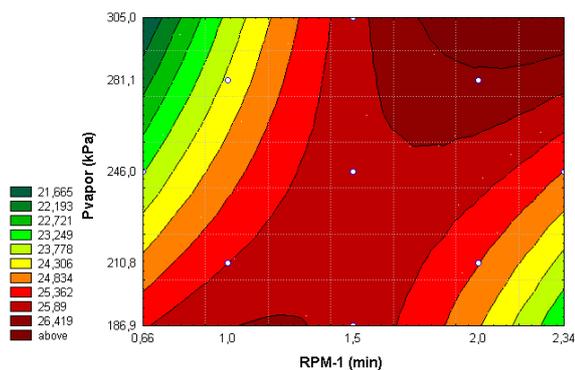


(f)

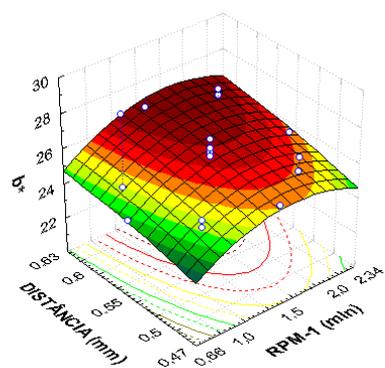
**Figura 20.** Superfícies de resposta e curvas de contorno para a resposta  $a^*$  em função do tempo e da pressão do vapor (a) e (b), do tempo e da distância entre os cilindros (c) e (d) e em função da pressão de vapor e da distância entre os cilindros (e) e (f). A terceira variável foi mantida no ponto central.



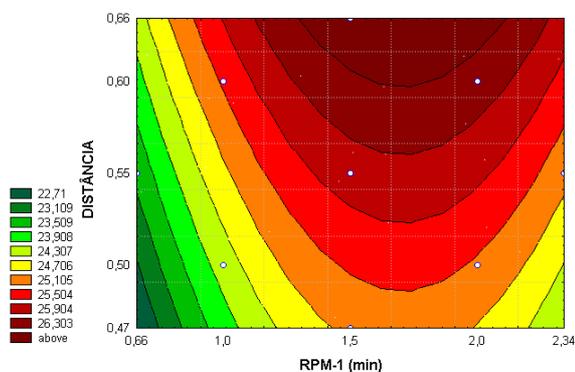
(a)



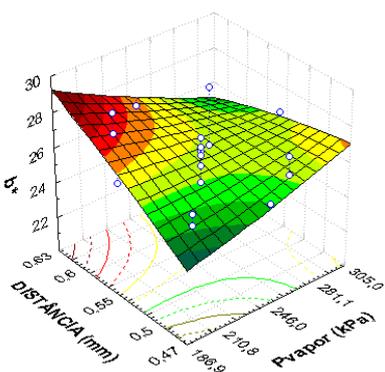
(b)



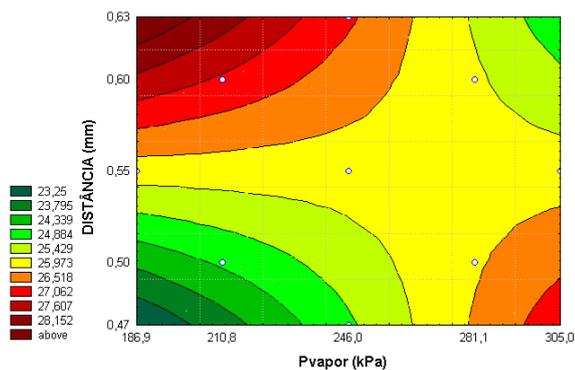
(c)



(d)



(e)



(f)

**Figura 21.** Superfícies de resposta e curvas de contorno para a resposta  $b^*$  em função do tempo e da pressão do vapor (a) e (b), do tempo e da distância entre os cilindros (c) e (d) e em função da pressão de vapor e da distância entre os cilindros (e) e (f). A terceira variável foi mantida no ponto central.

### 4.3.2 Secagem por atomização

Para cada ensaio do planejamento experimental, são apresentados na Tabela 20, os rendimentos em farinha e os valores das análises de umidade, atividade de água, cor (parâmetros L\*, a\* e b\*), teor de amido resistente e da sua perda em relação à matéria-prima.

Todos os ensaios apresentaram rendimentos muito baixos. O *spray dryer* utilizado no estudo apresenta baixa capacidade (2 kg de água evaporada/hora) e a polpa de banana precisou ser diluída (1 parte de banana para 1½ parte de água) para que pudesse ser atomizada. Porém, o maior problema enfrentado foi que, em diferentes graus, em todos os processamentos, houve depósito da pasta de banana na parede interna do equipamento. À medida que o produto secava, parte aderiu a essa pasta, causando uma perda bastante grande e, conseqüentemente, prejudicando o rendimento do processo. Masters (1972) comenta que, durante a secagem de purê de banana em *spray dryer* à temperatura de 150 - 160°C, há formação de depósito na parede do secador e que este deve ser removido por um raspador. Como o equipamento usado neste trabalho não dispunha de raspador, o rendimento do processo foi prejudicado. O menor rendimento (2,4%) foi obtido no ensaio com a máxima pressão do ar (560 kPa). Neste caso, a velocidade de atomização era tão alta que as partículas do produto atingiam a parede do equipamento ainda úmido e aí se depositavam.

Comparando-se os resultados com os obtidos para as farinhas secas em secador rotativo (item 4.3.1), verifica-se que a secagem por atomização nas condições estudadas deu origem a farinhas com teor de umidade (7,57% a 12,58%) e atividade de água (0,282 a 0,566) em faixas mais estreitas que as amostras obtidas em secador rotativo (umidade entre 3,34% e 15,99% e atividade de água entre 0,137 e 0,843). Todas as amostras apresentaram umidade inferior a 15% e, portanto, adequada para farinhas (BRASIL, 2005) e atividade de água abaixo do limite máximo recomendado por Troller (1980), para evitar o desenvolvimento de microrganismos.

Quanto à cor, as farinhas obtidas em *spray dryer* apresentaram-se tão ou mais claras (L\* entre 74,3 e 80,2) e com os tons vermelho (a\* entre 3,6 e 6,9) e

amarelo ( $b^*$  entre 13,0 e 17,9) menos intensos que as farinhas produzidas no *drum dryer* ( $L^*$  entre 61,8 e 78,4;  $a^*$  entre 4,5 e 9,2 e  $b^*$  entre 22,8 e 27,8).

As farinhas resultantes de todos os tratamentos (ensaios 1 ao 18) apresentaram elevados teores de amido resistente, em geral acima de 40%, correspondentes a uma perda de AR igual ou inferior a 30% para a maioria dos ensaios. Rosa, Tsukada e Freitas (2006) citam que o *spray dryer* é o equipamento ideal para a secagem de produtos sensíveis ao calor e quando o objetivo é a manutenção do seu valor nutricional. Os autores explicam que na secagem do leite, cujas gotículas entram em contato com ar na temperatura de 160 a 200°C, a desidratação ocorre instantaneamente sem que as partículas de leite já desprovidas de água, alcancem temperaturas superiores a 55°C. Isso ocorre porque a água durante a evaporação absorve calor latente, causando o resfriamento da parte sólida das gotículas. Considerando que, neste estudo, a faixa de temperatura de trabalho foi de 140 a 180°C, as partículas de amido de banana certamente não atingiram sua temperatura de gelatinização o que, de acordo com Zhang *et al.* (2005), causaria a perda de sua resistência.

A análise estatística dos dados obtidos a partir deste planejamento experimental é mostrada no Apêndice 6. Os modelos de regressão significativos e os respectivos coeficientes de determinação são apresentados na Tabela 21. Nas Figuras 22 e 23, são mostradas as superfícies de resposta e curvas de contorno obtidas pelos modelos propostos para essas respostas.

As variáveis *rendimento em farinha* e *perda de AR* apresentaram regressões significativas ao nível de 90% de confiança ( $F_{\text{calculado}}$  superior ao  $F_{\text{tabelado}}$ ) com coeficientes de determinação ( $R^2$ ) iguais a 69,32% e 73,63%, respectivamente, o que corresponde às porcentagens de variação explicadas pelas regressões (Apêndice 6, Tabelas A6.2 e A6. 14).

Na avaliação do modelo proposto para o *rendimento*, verifica-se que quanto menor a pressão do ar (e conseqüentemente a velocidade de rotação do atomizador) e maior a rotação da bomba de alimentação (e como conseqüência a vazão de alimentação), maior o rendimento do processo.

Com relação ao modelo proposto para a *perda de AR*, verifica-se que, quanto maior a temperatura e a pressão do ar e menor a rotação da bomba de alimentação, maior a perda de AR, pois a tratamento é mais drástico.

A análise dos efeitos das variáveis independentes nas respostas *umidade*, *atividade de água* e *luminosidade ( $L^*$ )* mostrou que apenas um ou dois termos das respectivas regressões foram estatisticamente significativos ( $p \leq 0,10$ ): apenas o termo linear da rotação para a umidade, ambos os termos da rotação (linear e quadrático) para a atividade de água e o termo linear da temperatura e a interação entre a pressão e a rotação para a luminosidade ( $L^*$ ). Os coeficientes dos demais termos não foram estatisticamente significativos, sendo que seus erros padrões foram altos, próximos ou até mesmo maiores que os próprios coeficientes dos modelos. Para as três variáveis respostas, as porcentagens de variação explicadas pelas regressões foram muito baixas (35,11%, 40,18% e 33,98%, respectivamente), indicando que não houve um bom ajuste dos valores experimentais aos modelos. Para o *parâmetro  $a^*$* , embora com mais termos estatisticamente significativos ( $p \leq 0,10$ ), a porcentagem de variação explicada pela regressão também foi muito baixa (45,93%), o que significa que o modelo proposto pela regressão não se ajustou bem aos dados experimentais. A possível causa da falta de um bom ajuste dos modelos foi que, para todas essas respostas, a diferença entre o menor e o maior valor obtidos experimentalmente não foi grande, o que mostra que, dentro da faixa estudada, todos os tratamentos afetaram de forma similar essas respostas.

Para o *parâmetro  $b^*$* , não houve nenhum efeito significativo ( $p \leq 0,10$ ), ou seja, não foi possível estabelecer um modelo para a resposta  $b^*$ , indicando que, também para esse parâmetro de cor, dentro da faixa estudada para a secagem por atomização, as farinhas obtidas apresentaram tons de amarelo muito próximos dentro de um valor médio e seu erro padrão.

**Tabela 20.** Rendimentos, teores de umidade, atividade de água, parâmetros de cor, teores e perda de AR das amostras de farinha de banana verde obtidas por atomização.

Ensaio	T <sub>ar</sub> (°C)	P <sub>ar</sub> (kPa)	Rotação (rpm)	Rendimento (% base polpa)	Umidade (%)	Aw	Cor			AR (% bs)	Perda AR (% bs)
							L*	a*	b*		
1	148	430	12	5,46	9,67 ± 0,07	0,422 ± 0,004	77,73 ± 0,02	4,11 ± 0,01	15,25 ± 0,03	43,60 ± 1,77	25,41
2	172	430	12	5,85	10,60 ± 0,01	0,444 ± 0,001	77,37 ± 0,14	5,94 ± 0,05	16,52 ± 0,12	42,48 ± 1,43	30,75
3	148	530	12	5,30	10,96 ± 0,06	0,480 ± 0,001	77,45 ± 0,14	5,09 ± 0,04	16,48 ± 0,09	42,54 ± 1,14	35,55
4	172	530	12	6,32	8,96 ± 0,03	0,420 ± 0,001	77,05 ± 0,70	4,89 ± 0,10	14,47 ± 0,34	32,29 ± 0,47	51,00
5	148	430	16	12,76	11,90 ± 0,01	0,491 ± 0,002	75,56 ± 0,10	5,83 ± 0,04	17,18 ± 0,12	49,00 ± 1,23	17,36
6	172	430	16	5,35	12,25 ± 0,10	0,566 ± 0,002	74,27 ± 0,07	6,89 ± 0,06	17,11 ± 0,06	41,82 ± 0,64	26,12
7	148	530	16	9,94	11,91 ± 0,05	0,513 ± 0,004	77,87 ± 0,16	4,81 ± 0,06	16,77 ± 0,21	47,25 ± 1,61	19,72
8	172	530	16	3,97	10,54 ± 0,06	0,453 ± 0,001	77,08 ± 0,20	5,73 ± 0,12	17,88 ± 0,28	43,34 ± 0,65	29,36
9	140	480	14	5,20	9,02 ± 0,06	0,415 ± 0,001	80,16 ± 0,07	3,57 ± 0,02	14,46 ± 0,08	49,41 ± 0,41	18,58
10	180	480	14	6,82	8,98 ± 0,02	0,376 ± 0,002	75,77 ± 0,14	5,23 ± 0,03	15,98 ± 0,07	44,94 ± 1,06	23,20
11	160	400	14	5,07	9,51 ± 0,04	0,402 ± 0,001	78,28 ± 0,06	4,28 ± 0,02	15,09 ± 0,10	42,16 ± 0,59	30,03
12	160	560	14	2,40	11,66 ± 0,13	0,564 ± 0,002	79,38 ± 0,29	4,08 ± 0,03	14,33 ± 0,08	37,30 ± 0,47	38,78
13	160	480	11	7,26	7,57 ± 0,02	0,282 ± 0,001	77,85 ± 0,28	3,72 ± 0,06	15,00 ± 0,18	41,77 ± 1,83	32,29
14	160	480	17	11,32	11,22 ± 0,03	0,466 ± 0,001	79,39 ± 0,07	4,21 ± 0,02	14,42 ± 0,10	45,75 ± 1,10	23,08
15	160	480	14	7,31	10,75 ± 0,22	0,510 ± 0,001	77,77 ± 0,04	4,28 ± 0,06	15,32 ± 0,23	41,07 ± 1,25	29,90
16	160	480	14	5,18	12,04 ± 0,01	0,511 ± 0,002	76,93 ± 0,16	4,40 ± 0,04	14,09 ± 0,08	47,94 ± 1,08	24,98
17	160	480	14	6,29	10,53 ± 0,03	0,439 ± 0,000	76,53 ± 0,03	5,06 ± 0,04	16,48 ± 0,11	48,63 ± 1,15	20,20
18	160	480	14	8,15	12,58 ± 0,05	0,543 ± 0,001	78,25 ± 0,02	4,99 ± 0,03	16,86 ± 0,07	47,80 ± 0,67	21,63

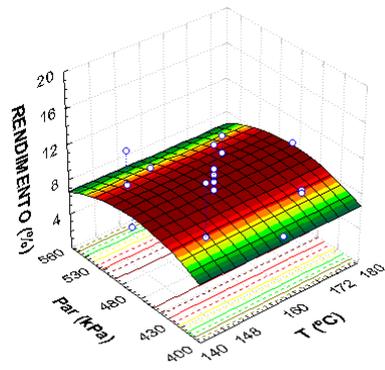
**Tabela 21.** Modelos de regressão com as variáveis codificadas e coeficientes de determinação ( $R^2$ ) para as variáveis respostas que apresentaram modelos significativos e preditivos.

RESPOSTA	MODELO*	$R^2$
Rendimento em farinha	$REND = 6,56 - 0,92x_2^2 + 1,17x_3 + 1,05 x_3^2 - 1,85 x_1 x_3$	69,32%
Perda de AR	$PERDA AR = 24,76 + 3,44x_1 + 3,71x_2 + 3,83x_2^2 - 4,81x_3$	73,63%

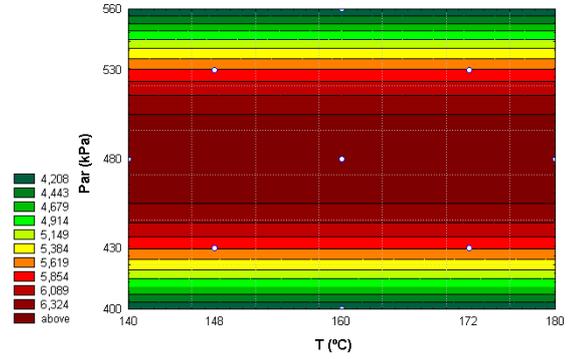
$x_1$ =temperatura ( $^{\circ}C$ );  $x_2$ =pressão do ar (kPa);  $x_3$ =rotação da bomba de alimentação (rpm); \*  $p \leq 0,10$  (nível de probabilidade pelo Teste F).

Na avaliação conjunta das Figuras 22 e 23, verifica-se que, dentro das faixas estudadas, as condições para a secagem da banana verde por atomização, visando a obtenção de farinha com a mínima perda de AR e o máximo rendimento, são:

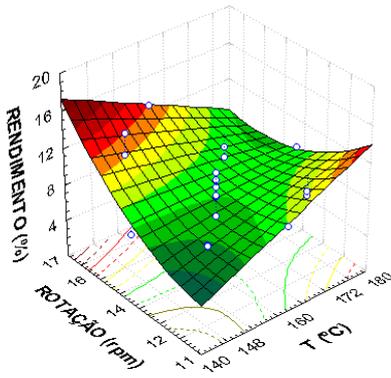
- temperatura:  $160^{\circ}C$ ;
- pressão do ar: 480 kPa, que corresponde a 34.355 rpm;
- rotação da bomba de alimentação: 17 rpm, correspondente a 23,9 mL/minuto.



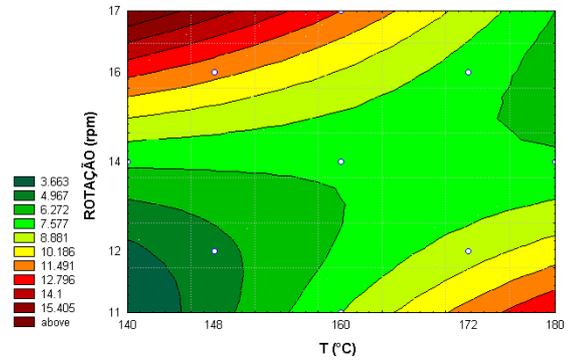
(a)



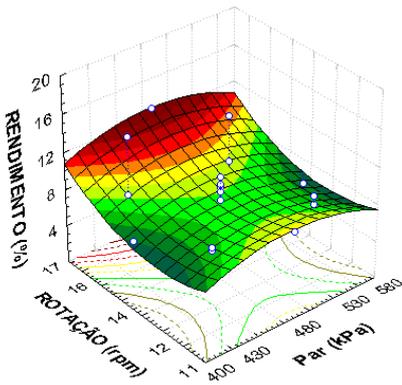
(b)



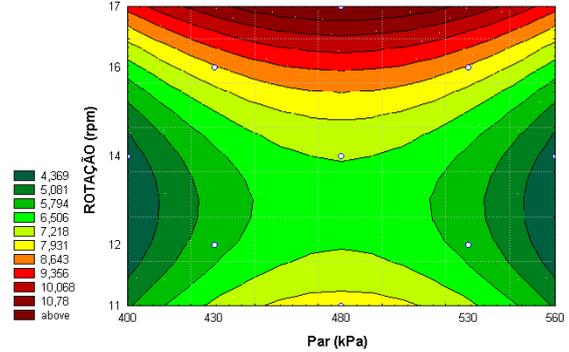
(c)



(d)

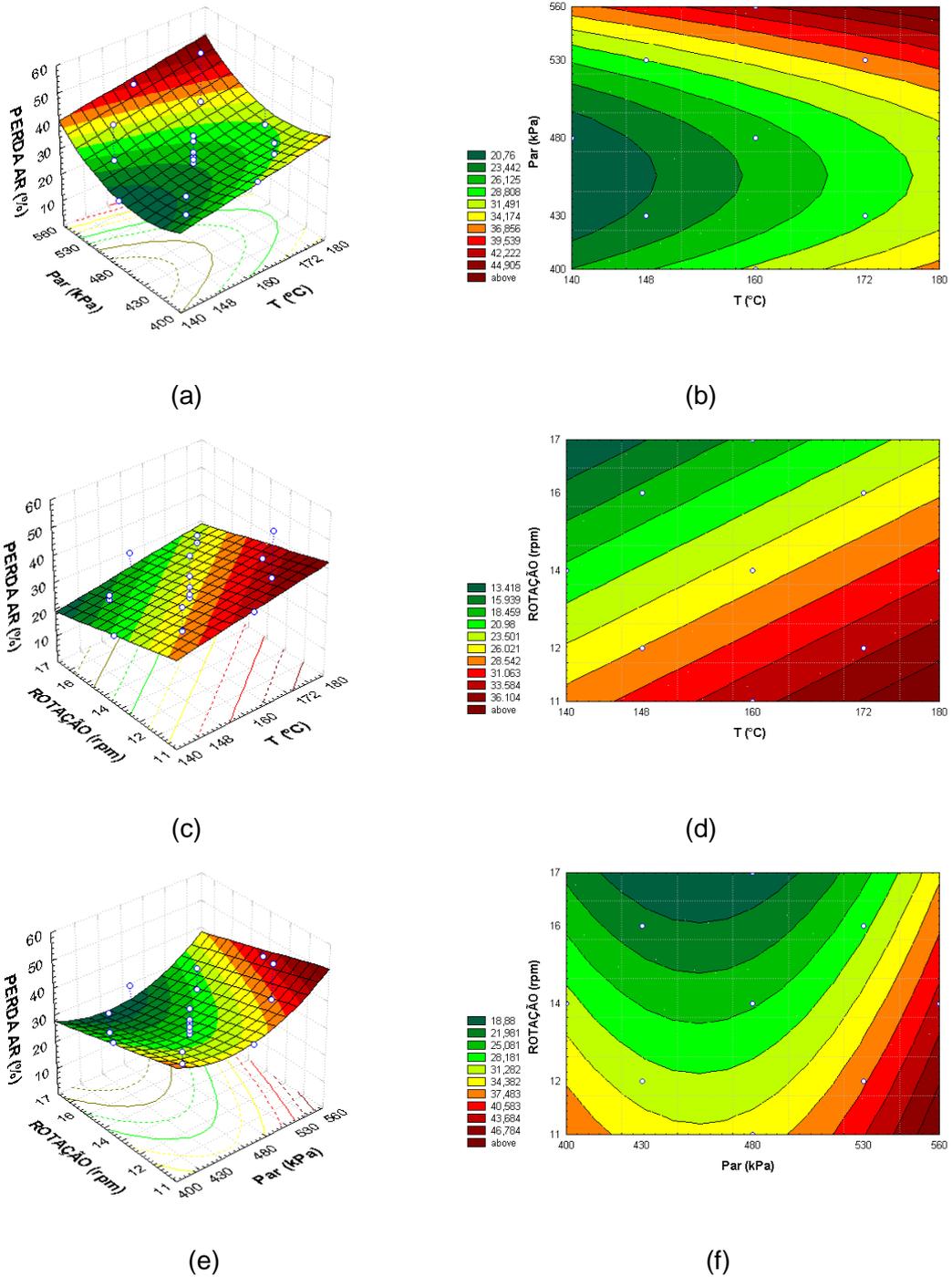


(e)



(f)

**Figura 22.** Superfícies de resposta e curvas de contorno para a resposta *rendimento em farinha* em função da temperatura e da pressão do ar (a) e (b), da temperatura e da rotação da bomba de alimentação (c) e (d) e em função da pressão do ar e da rotação da bomba de alimentação (e) e (f). A terceira variável foi mantida no ponto central.



**Figura 23.** Superfícies de resposta e curvas de contorno para a resposta *perda de amido resistente* em função da temperatura e da pressão do ar (a) e (b), da temperatura e da rotação da bomba de alimentação (c) e (d) e em função da pressão do ar e da rotação da bomba de alimentação (e) e (f). A terceira variável foi mantida no ponto central.

#### 4.4 Caracterização das farinhas de banana verde obtidas por diferentes processos

As características químicas e físicas das farinhas produzidas nas melhores condições de secagem em tambor rotativo e por atomização, definidas nos itens 4.3.1 e 4.3.2, foram comparadas com as características das farinhas obtidas por secagem em bandejas e por liofilização, de acordo com os itens 3.4.1 e 3.4.2.

##### 4.4.1 Composição centesimal

A composição centesimal das farinhas produzidas nas melhores condições de secagem em tambor rotativo e por atomização em comparação com as obtidas por secagem em bandejas e por liofilização encontram-se na Tabela 22.

**Tabela 22.** Composição centesimal das farinhas de banana verde obtidas pelos diferentes processos (base seca).

Determinações	Processo de secagem				D.M.S.
	Bandejas	Sec. Rotativo	Atomização	Liofilização	
Umidade (g/100g)	10,03 ± 0,12 <sup>b</sup>	7,76 ± 0,03 <sup>c</sup>	11,18 ± 0,04 <sup>a</sup>	4,28 ± 0,09 <sup>d</sup>	0,20
Proteína-Nx6,25 (g/100g)	5,39 ± 0,02 <sup>b</sup>	5,00 ± 0,03 <sup>d</sup>	5,27 ± 0,01 <sup>c</sup>	5,69 ± 0,02 <sup>a</sup>	0,05
Lipídios (g/100g)	0,33 ± 0,02 <sup>c</sup>	0,50 ± 0,02 <sup>a</sup>	0,47 ± 0,01 <sup>a</sup>	0,40 ± 0,02 <sup>b</sup>	0,04
Cinzas (g/100g)	2,84 ± 0,06 <sup>b</sup>	2,99 ± 0,05 <sup>ab</sup>	3,16 ± 0,12 <sup>a</sup>	2,90 ± 0,06 <sup>b</sup>	0,20
FAT <sup>1</sup> (g/100g)	10,55 ± 0,05 <sup>d</sup>	10,99 ± 0,03 <sup>b</sup>	10,88 ± 0,03 <sup>c</sup>	11,71 ± 0,01 <sup>a</sup>	0,09
Carboidratos <sup>2</sup> (g/100g)	80,89 ± 0,08 <sup>a</sup>	79,80 ± 0,03 <sup>b</sup>	79,38 ± 0,10 <sup>c</sup>	79,30 ± 0,09 <sup>c</sup>	0,21

Resultados expressos como média ± desvio padrão de 3 determinações. <sup>1</sup>Fibra alimentar total. <sup>2</sup>Calculado por diferença: 100-(proteína+lipídios+cinzas+FAT). D.M.S.: diferença mínima significativa ao nível de erro de 5% pelo Teste de Tukey. Em cada linha, médias seguidas de letras iguais não diferem significativamente entre si ao nível de erro de 5%.

Todas as farinhas apresentaram umidade de acordo com a Resolução RDC nº 263, de 22 de setembro de 2005, que estabelece como requisito específico para farinhas o teor máximo de umidade de 15 g/100g (BRASIL, 2005). Os valores obtidos para os processos de secagem em bandejas, secador rotativo e liofilização estão compatíveis com os encontrados por Pacheco-Delahaye *et al.* (2008): 11,75 g/100g, 5,46 g/100g e 2,23 g/100g, respectivamente. Tribess *et al.* (2009), ao estudarem a secagem de bananas verdes em bandejas com diferentes

combinações de temperatura (52°C, 55°C e 58°C) e velocidade do ar (0,6 m/s, 1,0 m/s e 1,4 m/s), obtiveram farinhas com teor de umidade entre 1,6 e 7,6 g/100g.

Na avaliação da composição centesimal, verifica-se que as amostras apresentaram resultados próximos, embora diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) tenham ocorrido em todos os parâmetros analisados. Certamente, essa diferença ocorreu em função da diferença na composição das matérias-primas provenientes de quatro diferentes cachos e não em função do processo de secagem empregado.

Quanto aos teores de proteína, os valores obtidos neste trabalho são superiores aos reportados por Moraes Neto *et al.* (1998), Mota *et al.* (2000), Daramola e Osanyinlusi (2006), Fasolin *et al.* (2007), Pacheco-Delahaye *et al.* (2008), e por Borges, Pereira e Lucena (2009), em geral entre 2,5 e 3,7 g/100g com valor máximo de 4,7 g/100g obtido por Borges, Pereira e Lucena (2009) para variedades diferentes da empregada neste estudo. Também são superiores ao teor de proteína da banana Nanicão Jangada *in natura* (Tabela 12) e esta diferença pode estar relacionada à diferença na época e condições de cultivo.

Os teores de lipídios e de cinzas obtidos neste trabalho são similares aos reportados por Mota *et al.* (2000) para farinhas de 7 diferentes cultivares de banana verde cultivados no Brasil, aos reportados por Pacheco-Delahaye *et al.* (2008) para farinhas obtidas por diferentes processos a partir de banana da terra da variedade Harton/Horn, cultivada na Venezuela e por Borges, Pereira e Lucena (2009) para farinha de banana prata no estágio verde, desidratada por 12 horas a 70°C. Moraes Neto *et al.* (1998) secaram banana prata ao sol por 18 horas e obtiveram farinha com teor de cinzas de 4,14 g/100g, aproximadamente 40% superior ao teor encontrado neste trabalho e pelos demais autores. Em pesquisa feita na Nigéria com 6 cultivares de banana no estágio verde secas por 24 horas a 50°C, Daramola & Osanyinlusi (2006) obtiveram farinhas com teor de cinzas na faixa de 0,6 a 4,1 g/100g.

Quanto ao teor de fibra alimentar, Mota *et al.* (2000) obtiveram valores similares aos deste estudo para as farinhas das variedades Prata comum e Maçã enquanto que as variedades Ouro da Mata, Nanica, Nanicão e Prata anã apresentaram teores na faixa de 6,3 a 9,0 g/100g e a variedade Mysore, 15,5

g/100g. Os valores reportados por Pacheco-Delahaye *et al.* (2008) estão na faixa de 9,0 a 9,7 g/100g e são 15% inferiores aos valores apresentados neste trabalho.

#### 4.4.2 Teor de amido resistente

No que diz respeito ao teor de amido resistente, ao contrário dos demais componentes analisados, a diferença entre as amostras está muito mais relacionada ao processo de secagem empregado do que a diferenças inerentes à matéria-prima. As perdas de amido resistente em relação à matéria-prima apresentadas na Tabela 23 mostram exatamente isso. A maior perda de AR (praticamente total) se deu no processo em secador rotativo, onde ocorreu a gelatinização do amido e, conseqüentemente, a redução de sua resistência ao ataque enzimático. A discussão sobre as propriedades das pastas preparadas a partir das diferentes farinhas e suas relações com a gelatinização do amido será apresentada no item 4.4.5.

**Tabela 23.** Teor e perda de amido resistente (AR) das farinhas de banana verde obtidas pelos diferentes processos (base seca).

Determinações	Processo de secagem				D.M.S.
	Bandejas	Sec. Rotativo	Atomização	Liofilização	
AR (g/100g)	50,39 ± 1,75 b	4,72 ± 0,11 d	54,29 ± 1,41 a	47,19 ± 0,34 c	1,56
Perda AR (%) <sup>2</sup>	28,27	94,03	24,45	8,97	-

Resultados expressos como média ± desvio padrão de 3 determinações. <sup>1</sup>Calculado por diferença: 100-(proteína+lípídios+cinzas+FAT). <sup>2</sup>Em relação ao teor de AR da matéria-prima. D.M.S.: diferença mínima significativa ao nível de erro de 5% pelo Teste de Tukey. Em cada linha, médias seguidas de letras iguais não diferem significativamente entre si ao nível de erro de 5%.

Comparando-se os processos de secagem em bandejas e por atomização, verifica-se que ambos apresentaram perda de AR na mesma ordem de grandeza, com ligeira vantagem para a atomização. Empregando as mesmas condições para a secagem de bananas verdes em bandejas (temperatura = 55°C; velocidade do ar = 1,4 m/s), Tribess *et al.* (2009) obtiveram farinha com 58,5g AR/100g. Os autores não avaliaram a perda de AR em relação ao teor da matéria-prima.

Por não empregar altas temperaturas, o processo de liofilização é o que melhor preserva a resistência do amido. Neste trabalho, o menor teor de AR da farinha obtida por liofilização quando comparado com os processos de secagem em bandejas e por atomização pode ser explicado pelo menor teor de AR (51,84%) da matéria-prima utilizada.

#### **4.4.2.1 Avaliação da biomassa de banana verde quanto à perda de amido resistente e sua comparação com os processos de secagem**

Os teores de amido resistente (base seca) da biomassa de banana verde preparada em duas diferentes épocas foram de 16,70% e 12,02%, tendo apresentado perdas de AR em relação à matéria-prima de 75,9% e 84,8%, respectivamente. Esses valores de perda de AR são compatíveis com o valor de 79,5%, calculado a partir dos resultados obtidos por Cadernette (2006): teor de AR de 51,3% AR para a banana verde crua homogeneizada com água e de 10,5% para a massa de banana verde preparada por cozimento com casca em panela de pressão por 8 minutos, descascamento, homogeneização e armazenamento a 4°C por 16 horas.

A perda de AR no processo de preparo da biomassa é bastante superior à dos processos de secagem em bandejas e por atomização e liofilização.

Em diversos *sites* e listas de discussão com acesso por meio eletrônico são encontrados artigos voltados para a área de Nutrição, que se referem à biomassa de banana verde como alimento funcional devido ao elevado teor de amido resistente. Os benefícios do AR também são apresentados (PASCHOAL, 2008; FARIA, 2009; DI CIERO, 2009; PEREGRINO, 2009).

Considerando os resultados obtidos neste estudo, a indicação da biomassa como um produto funcional para uso como ingrediente de preparações doces e salgadas não se justifica. O emprego de processos de secagem que preservam o AR da matéria-prima (atomização, em bandejas ou liofilização) é mais adequado quando o objetivo é manter o alto teor de amido resistente presente na matéria-prima.

#### 4.4.3. Atividade de água

Na Tabela 24, são apresentados os resultados de atividade de água das farinhas obtidas pelos diferentes processos estudados. Embora as amostras processadas em bandejas e em secador rotativo tenham diferido significativamente das demais amostras e entre si, todas apresentaram valores inferiores a 0,60 que, segundo Troller (1980), não permite o desenvolvimento de microrganismos, inclusive de bolores xerofílicos e leveduras osmofílicas, que ainda podem se desenvolver em atividade de água na faixa de 0,60 a 0,65.

**Tabela 24.** Atividade de água das farinhas de banana verde obtidas pelos diferentes processos.

Processo	Aw
Bandeja	0,380 ± 0,001 <sup>c</sup>
Sec. rotativo	0,392 ± 0,004 <sup>b</sup>
Atomização	0,434 ± 0,002 <sup>a</sup>
Liofilização	0,435 ± 0,002 <sup>a</sup>
D.M.S.	0,007

Resultados expressos como média ± desvio padrão de 3 determinações. Médias seguidas de letras diferentes diferem significativamente entre si ao nível de significância de 5%.

#### 4.4.4. Cor CIELab

Os resultados de cor das amostras de farinha de banana verde obtidas pelos diferentes processos de secagem são apresentados na Tabela 25. Na Figura 24, pode-se visualizar as diferenças de cor apresentadas pelas amostras. A farinha liofilizada foi a que apresentou cor mais clara (maior valor de L\*) e tom avermelhado menos intenso (menor valor de a\*). A farinha obtida por atomização foi a que apresentou tom vermelho mais intenso enquanto que a farinha seca em secador rotativo apresentou tom amarelo mais intenso. A alteração de cor durante o aquecimento é resultado da reação de Maillard, também conhecida como escurecimento não enzimático, que ocorre entre açúcares redutores e aminoácidos

para a formação das melanoidinas, compostos escuros e de alta massa molecular (BOBBIO; BOBBIO, 1984).

A cor mais escura da farinha seca em bandejas é resultado da coloração marrom que se formou na borda das rodelas durante a secagem (Figura 25).

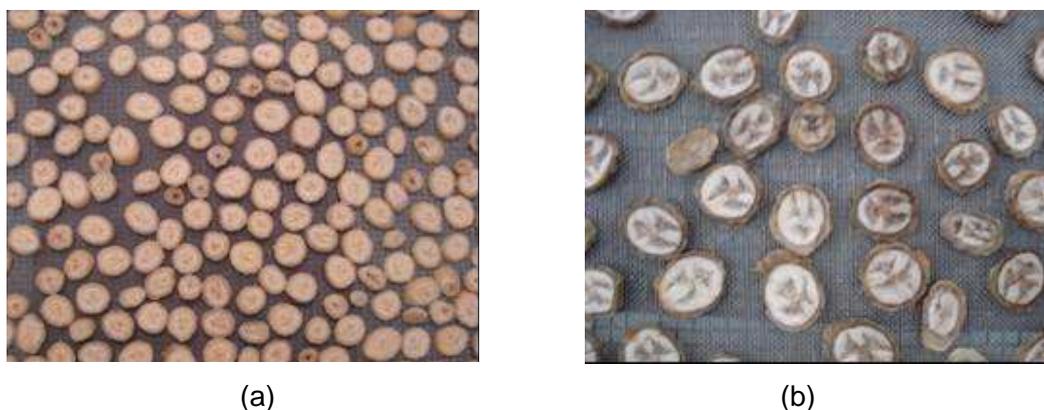
**Tabela 25.** Parâmetros de cor CIELab das farinhas de banana verde obtidas pelos diferentes processos.

Processo	L*	a*	b*
Bandeja	74,42 ± 0,15 <sup>c</sup>	2,69 ± 0,02 <sup>c</sup>	12,87 ± 0,10 <sup>c</sup>
Sec. Rotativo	75,67 ± 0,03 <sup>b</sup>	5,17 ± 0,06 <sup>b</sup>	25,34 ± 0,36 <sup>a</sup>
Atomização	75,79 ± 0,08 <sup>b</sup>	6,02 ± 0,07 <sup>a</sup>	16,99 ± 0,18 <sup>b</sup>
Liofilização	81,51 ± 0,16 <sup>a</sup>	2,20 ± 0,02 <sup>d</sup>	16,70 ± 0,12 <sup>b</sup>
D.M.S.	0,30	0,12	0,56

Resultados expressos como média ± desvio padrão de 3 determinações. Para cada parâmetro, médias seguidas de letras diferentes diferem significativamente entre si ao nível de significância de 5%.



**Figura 24.** Diferenças de cor das amostras de farinha de banana verde obtidas por diferentes processos.



**Figura 25.** Bananas em rodelas antes (a) e após (b) secagem em bandejas.

#### 4.4.5. Propriedades de pasta

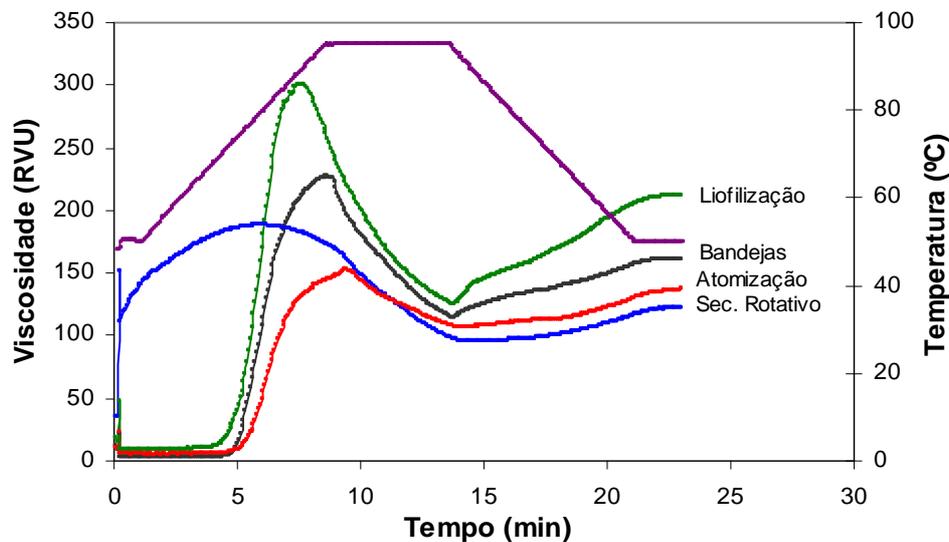
As propriedades de pasta das farinhas de banana verde obtidas pelos diferentes processos são apresentadas na Tabela 26 e Figura 26. A farinha obtida em secador rotativo apresentou curva característica de amido pré-gelatinizado, ou seja, viscosidade instantânea, definida por Thomas e Atwell (1999) como a imediata absorção de água pelo grânulo de amido gelatinizado, que age como uma esponja, produzindo uma viscosidade inicial. Com o aquecimento, essa viscosidade inicial aumenta um pouco e, em seguida, é reduzida devido ao excesso de aquecimento que causa a ruptura dos grânulos intumescidos.

Dentre as demais amostras, a farinha obtida pelo processo de atomização foi a que apresentou a menor quebra, ou seja, a maior resistência dos grânulos à fragmentação mecânica e o menor *setback*, relacionado à menor tendência à retrogradação. No trabalho de Mota *et al.* (2000), em que farinhas de oito diferentes variedades de banana no estágio verde foram preparadas por liofilização e avaliadas quanto às propriedades de pasta na concentração de 4%, a variedade Nanicão apresentou menor quebra e maior *setback* que a farinha obtida por liofilização neste estudo. Embora as propriedades de pasta de amidos e farinhas de banana de diversas variedades da família *Musaceae* já tenham sido estudadas por vários autores, as diferentes concentrações e equipamentos empregados (RVA ou viscoamilógrafo Brabender) não permitem a comparação entre os diferentes estudos.

**Tabela 26.** Propriedades de pasta das farinhas de banana verde obtidas pelos diferentes processos.

Processo	Viscosidade (RVU)				T pasta (°C)	t pico (min)
	Pico	Quebra	Final	Setback		
Bandeja	227 ± 5 <sup>b</sup>	113 ± 3 <sup>b</sup>	162 ± 3 <sup>b</sup>	47 ± 1 <sup>b</sup>	74,3 ± 0,1 <sup>b</sup>	8,6 ± 0,1 <sup>b</sup>
Sec. rotativo	189 ± 2 <sup>c</sup>	93 ± 2 <sup>c</sup>	123 ± 2 <sup>d</sup>	27 ± 1 <sup>c</sup>	-	5,8 ± 0,2 <sup>d</sup>
Atomização	154 ± 2 <sup>d</sup>	47 ± 5 <sup>d</sup>	137 ± 1 <sup>c</sup>	31 ± 3 <sup>c</sup>	78,5 ± 0,3 <sup>a</sup>	9,6 ± 0,2 <sup>a</sup>
Liofilização	301 ± 5 <sup>a</sup>	175 ± 3 <sup>a</sup>	212 ± 1 <sup>a</sup>	86 ± 2 <sup>a</sup>	73,6 ± 0,6 <sup>b</sup>	7,6 ± 0,1 <sup>c</sup>
D.M.S.	16	13	7	8	1,5	0,6

Resultados expressos como média ± desvio padrão de 2 determinações. Em cada coluna, médias seguidas de letras diferentes diferem significativamente entre si ao nível de significância de 5%.



**Figura 26.** Curvas de viscosidade do RVA das amostras de farinha de banana verde obtidas pelos diferentes processos.

#### 4.4.6. Propriedades de molhabilidade e solubilidade

Na Tabela 27, são apresentados os tempos de molhamento e a solubilidade das amostras de FBV preparadas a partir dos diferentes processos estudados.

A molhabilidade, também conhecida como umectabilidade, pode ser caracterizada pela susceptibilidade das partículas de serem penetradas pela água, estando relacionada principalmente ao conteúdo e características da gordura presente no alimento, bem como a fatores físicos, especialmente tamanho e forma das partículas, e temperatura da água de reconstituição. Produtos em pó que apresentam baixa molhabilidade tendem a formar grumos durante a adição e mistura com a água (MAIA & GOLGHER, 1983).

De acordo com Lannes e Medeiros (2003), embora o tempo máximo para o produto molhar seja uma decisão arbitrária, um bom parâmetro pode ser o máximo de 5 minutos para que 90% do produto mergulhe na água. Neste trabalho, todas as farinhas avaliadas apresentaram tempo de molhamento superior a 5 minutos.

A solubilidade é um dos parâmetros utilizados para verificar a capacidade do pó para manter-se em mistura homogênea com a água, ou seja, a estabilidade da

mistura (MAIA & GOLGHER, 1983), que freqüentemente não constitui uma solução, no sentido estrito da palavra, mas sim uma emulsão e/ou suspensão, cujo aumento da estabilidade é comumente referido como "solubilização". Neste trabalho, a maior solubilidade da farinha obtida em secador rotativo em relação às demais amostras é resultado da gelatinização ocorrida durante o processo.

**Tabela 27.** Tempo de molhamento e solubilidade das farinhas de banana verde preparadas por diferentes processos.

Processo	Tempo de molhamento (min)	Solubilidade (%)
Bandeja	> 5	8,0 ± 2,0 <sup>b</sup>
Sec. Rotativo	> 5	21,3 ± 7,0 <sup>a</sup>
Atomização	> 5	10,0 ± 2,0 <sup>b</sup>
Liofilização	>5	4,7 ± 1,2 <sup>b</sup>

Resultados expressos como média ± desvio-padrão de 3 determinações.

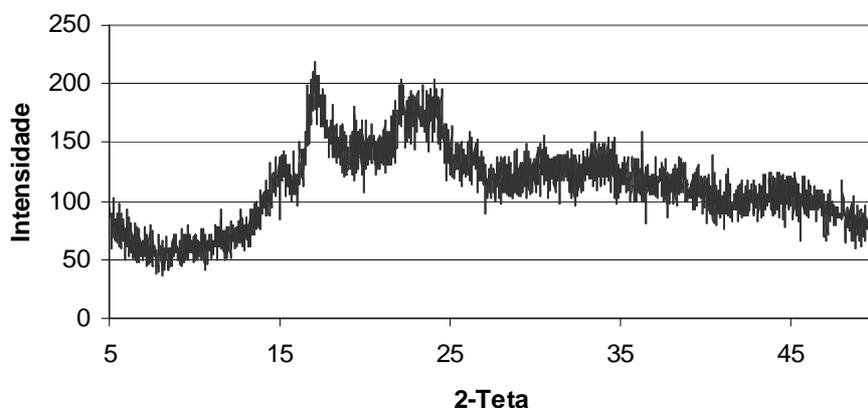
#### 4.4.7. Padrão de cristalinidade

Os difratogramas de raio-X referentes às amostras de FBV preparadas pelos diferentes processos de secagem são apresentados nas Figuras 27 a 30.

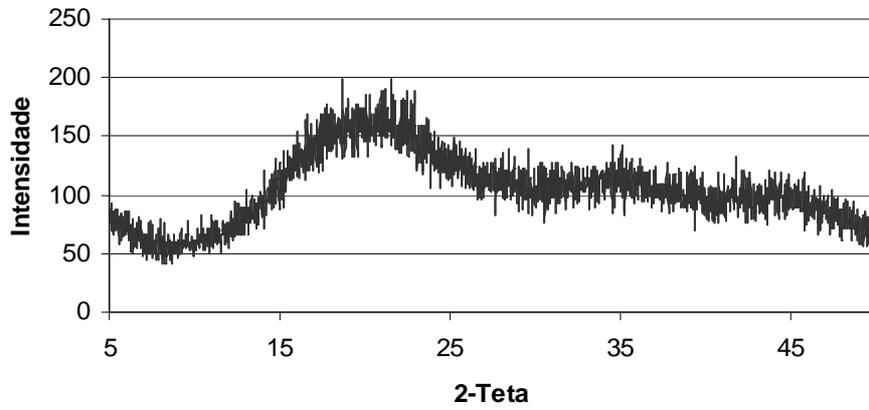
Os grânulos de amido das farinhas obtidas por secagem em bandeja, atomização e liofilização apresentaram difratogramas padrão tipo C (Figuras 27, 29 e 30), que é um misto entre os padrões A e B, característico de leguminosas, algumas sementes e raízes. González-Soto *et al.* (2007) também observaram padrão tipo C para o amido nativo de banana *Musa paradisíaca* (Figura 31). Freitas e Tavares (2005) observaram padrões B e C para bananas das espécies Nanicão e Terra, respectivamente. Como encontraram teores similares de AR para ambas as espécies (em torno de 84%), esses autores concluíram que a resistência de amidos depende de vários fatores além do tipo de associação estabelecida entre amilopectina e amilose, embora esta associação seja relevante para definir o padrão de cristalinidade. Freitas e Tavares (2005) demonstraram por micrografias obtidas em microscópio eletrônico de varredura que os amidos com padrão de cristalinidade tipos B e C das bananas Nanicão e Terra tratadas com  $\alpha$ -amilase

pancreática são mais resistentes à enzima, apresentando corrosão apenas superficial e apical. Por outro lado, o amido de milho de padrão tipo A mostrou-se muito suscetível à ação enzimática, com grânulos bastante corroídos e poros numerosos e profundos.

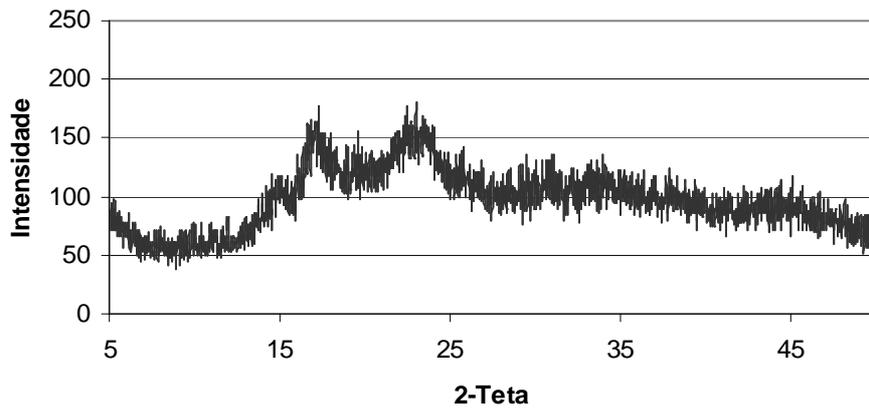
O difratograma da farinha obtida em tambor rotativo (Figura 28) é bastante similar ao apresentado por Gonzalez-Soto *et al.* (2007) para amido de banana extrudado (Figura 31): um pico amorfo com baixo grau de cristalinidade. Os autores explicam que essa característica é resultado da grande desorganização das moléculas de amido causada pelo tratamento térmico durante o processo de extrusão que originou amostra com baixo teor de AR (1,9%). Para González-Soto *et al.* (2007), o alto teor de AR no amido nativo (41,0%) é explicado pelo padrão de cristalinidade tipo C, que apresenta como característica a baixa digestibilidade no estado nativo sendo facilmente hidrolisável após a gelatinização.



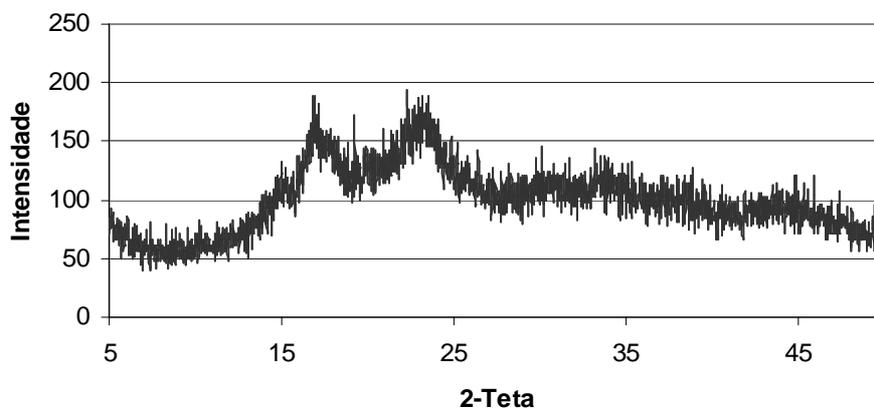
**Figura 27.** Difratograma de raio-X de FBV obtida por secagem em bandejas.



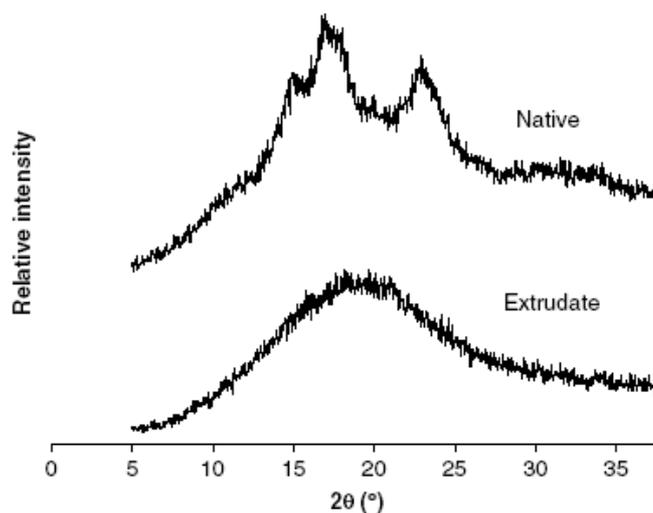
**Figura 28.** Difratoograma de raio-X de FBV obtida por secagem em tambor rotativo.



**Figura 29.** Difratoograma de raio-X de FBV obtida por atomização.



**Figura 30.** Difratoograma de raio-X de FBV obtida por liofilização.



**Figura 31.** Difratograma de raio-X de amido de banana nativo e extrudado.  
Fonte: González-Soto *et al.*, 2007.

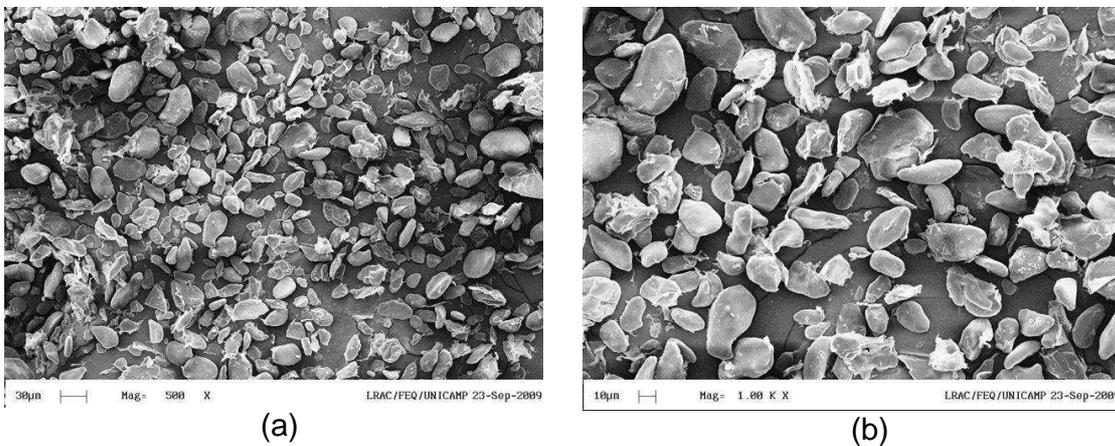
#### 4.4.8. Características morfológicas

Pelas Figuras 32, 34 e 35, verifica-se que as farinhas obtidas por secagem em bandejas, atomização e por liofilização apresentam grânulos com superfície lisa, formato irregular, em geral oval ou elíptico, coincidindo com a descrição de Ling *et al.* (1982) para o amido das bananas da espécie *cavendish* e de Peroni *et al.* (2007) para o amido de banana verde da variedade Nanicão nos primeiros estádios de amadurecimento (até o 17º dia após a colheita). Em geral, o menor e o maior diâmetro variaram, respectivamente, de 10  $\mu\text{m}$  a 30  $\mu\text{m}$  e de 15  $\mu\text{m}$  a 55  $\mu\text{m}$ , o que está de acordo com as dimensões encontradas por Teixeira *et al.* (1998) para a variedade Terra e por Bello-Pérez *et al.* (2005) para a variedade Macho, típica do México.

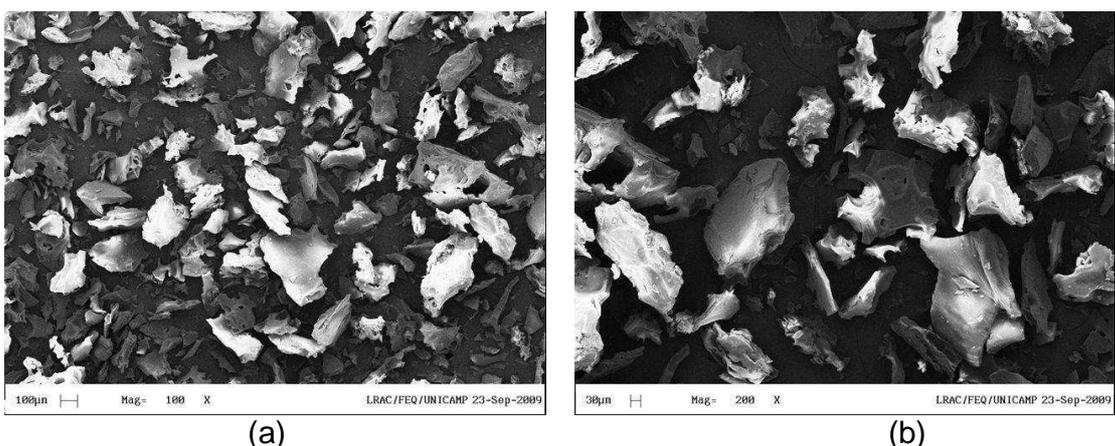
A aparência os grânulos de amido da farinha obtida em tambor rotativo (Figura 33) é diferente das demais amostras e de acordo com a descrição de Thomas e Atwell (1999) para amido gelatinizado: grânulos maiores, achatados, sem formato definido e com superfície enrugada. Grânulos de amido aquecidos na presença de água sofrem alterações tanto no tamanho como no formato. Inicialmente, os grânulos intumescem e adquirem o formato de discos planos e, à

medida que o aquecimento continua, os grânulos adquirem aparência enrugada, perdendo o formato original (THOMAS; ATWELL, 1999).

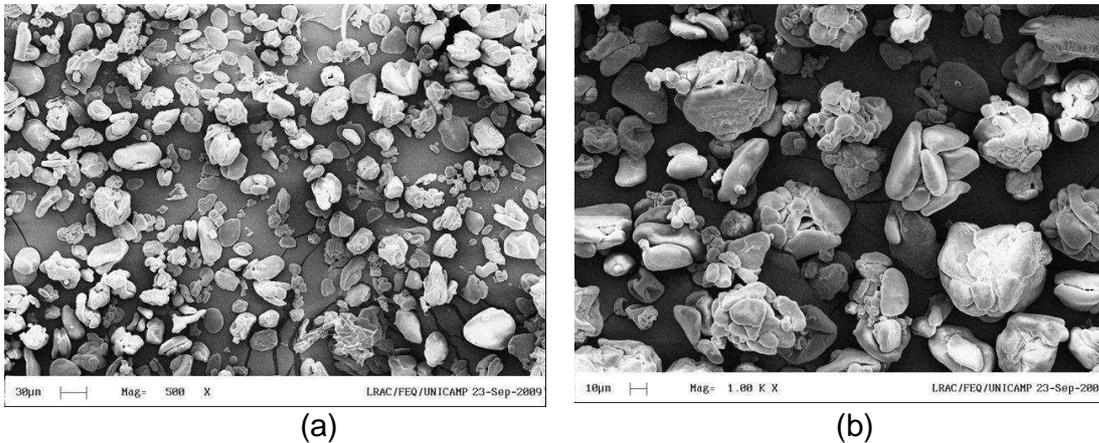
A presença de grandes partículas com formato esférico verificada na farinha processada por atomização (Figura 34) é explicada por Tukomane *et al.* (2007) como inerente ao processo de secagem em *spray dryer*, onde os grânulos de amido de diferentes tamanhos são aglomerados formando partículas maiores de formato esférico. Os autores encontraram a mesma característica em amido de mandioca nativo seco em *spray dryer*.



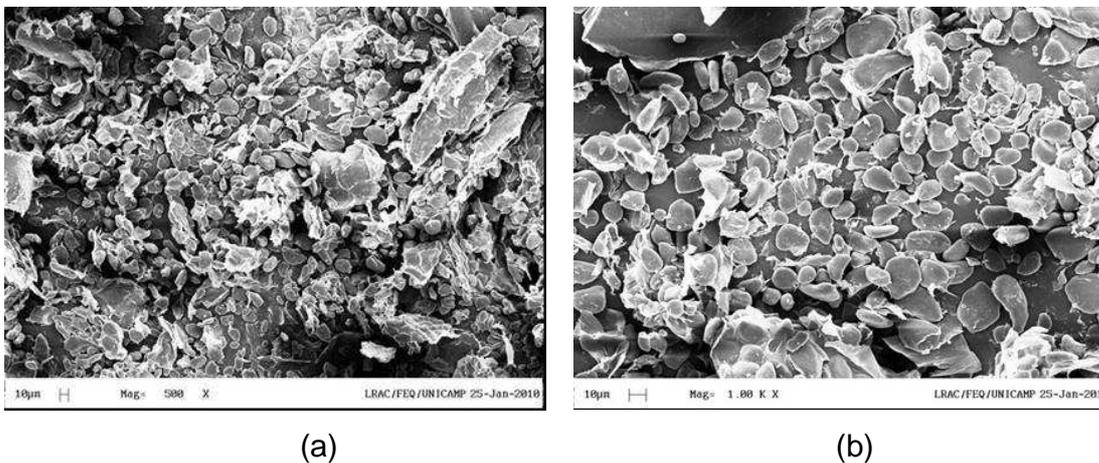
**Figura 32.** Micrografias obtidas em MEV de farinha de banana verde desidratada em secador de bandeja: (a) 500X; (b) 1.000X.



**Figura 33.** Micrografias obtidas em MEV de farinha de banana verde desidratada em tambor rotativo. (a) 100X; (b) 200X.



**Figura 34.** Micrografias obtidas em MEV de farinha de banana verde desidratada em *spray dryer*. (a) 500X; (b) 1.000X.



**Figura 35.** Micrografias obtidas em MEV de farinha de banana verde liofilizada. (a) 500X; (b) 1.000X.

#### 4.4.9 Considerações finais sobre a avaliação dos processos de secagem

A secagem em tambor rotativo causou a perda de mais de 90% do AR presente na matéria-prima, enquanto que os processos de liofilização, secagem por atomização e em bandejas foram eficazes em preservar o AR da matéria-prima. Como o processo de secagem em bandejas requer menos investimento e apresenta custos de operação inferiores aos processos de atomização e liofilização, selecionou-se a farinha preparada neste processo para a aplicação em pão de forma e barras de cereais.

Caso haja ociosidade nas linhas de liofilização e atomização de empresas que já trabalham com esses processos, um estudo da viabilidade econômica de produção de farinha de banana verde se justifica.

#### 4.5 Avaliação da aplicação da FBV em pão de forma

##### 4.5.1 Composição centesimal dos pães de forma com FBV

As características dos pães de forma padrão, com 10% e com 20% de FBV obtida por secagem em bandejas quanto à composição centesimal são apresentados na Tabela 28. A formulação padrão apresentou composição centesimal próxima das apresentadas na Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (FCF/USP, 2008) para os pães de forma tradicional e de leite. O menor teor de proteína e o maior teor de lipídios obtidos neste estudo são resultantes de variações nos componentes das diferentes formulações comparadas.

**Tabela 28.** Composição centesimal dos pães de forma padrão e com 10% e 20% de farinha de banana verde (base seca).

Determinações	Pão de forma			D.M.S.
	Padrão	10% FBV	20% FBV	
Umidade (g/100g)	33,18 ± 0,09 <sup>a</sup>	32,51 ± 0,14 <sup>b</sup>	33,06 ± 0,07 <sup>a</sup>	0,25
Proteína - N X 5,7(g/100g)	11,40 ± 0,01 <sup>a</sup>	10,89 ± 0,09 <sup>b</sup>	10,09 ± 0,03 <sup>c</sup>	0,14
Lipídios (g/100g)	9,03 ± 0,04 <sup>a</sup>	9,00 ± 0,01 <sup>a</sup>	8,68 ± 0,11 <sup>b</sup>	0,17
Cinzas (g/100g)	2,81 ± 0,02 <sup>c</sup>	3,02 ± 0,02 <sup>b</sup>	3,25 ± 0,02 <sup>a</sup>	0,04
FAT <sup>1</sup> (g/100g)	4,29 ± 0,07 <sup>c</sup>	4,63 ± 0,11 <sup>b</sup>	4,88 ± 0,03 <sup>a</sup>	0,20
Carboidratos <sup>2</sup> (g/100g)	72,47 ± 0,01 <sup>b</sup>	72,38 ± 0,02 <sup>b</sup>	73,09 ± 0,16 <sup>a</sup>	0,23

Resultados expressos como média ± desvio padrão de 3 determinações. <sup>1</sup>Fibra alimentar total. <sup>2</sup>Calculado por diferença: 100-(proteína+lipídios+cinzas+FAT). D.M.S.: diferença mínima significativa ao nível de erro de 5% pelo Teste de Tukey. Em cada linha, médias seguidas de letras iguais não diferem significativamente entre si ao nível de erro de 5%.

Ao substituir gradualmente parte da farinha de trigo por FBV, houve redução nos teores de proteína e lipídios, o que era esperado, uma vez que estes componentes estão presentes na FBV em quantidades inferiores às da farinha de trigo. O contrário ocorreu com os teores de cinzas e de FAT, em função do menor teor destes componentes na farinha de trigo, quando comparado com o teor da

FBV (Tabela 22). De acordo com o fabricante da farinha de trigo utilizada neste estudo, os teores de proteína e de cinzas eram de 12,46% e 0,71% (em base seca), respectivamente. O laudo fornecido pelo fabricante da farinha de trigo não apresentava os resultados de lipídios e FAT, por não serem análises rotineiras nos moinhos de trigo. De acordo com a Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (FCF/USP, 2008), a farinha de trigo contém, em média, 1,5% de lipídios e 3,1% de FAT.

#### 4.5.2 Teor de amido resistente

O pão com 20% de FBV apresentou teor de AR significativamente ( $p < 0,05$ ) superior ao das demais amostras, sendo 16% superior ao do pão padrão, porém a proximidade dos resultados obtidos para as três formulações leva a conclusão de que o processo exerceu maior influência no teor de AR do que a substituição da farinha de trigo por FBV, conforme mostrado na Tabela 29.

**Tabela 29.** Teor de amido resistente (AR) dos pães de forma padrão e com 10% e 20% de farinha de banana verde (base seca).

Determinações	Pão de forma			D.M.S.
	Padrão	10% FBV	20% FBV	
AR (g/100g)	6,00 ± 0,06 <sup>b</sup>	6,03 ± 0,13 <sup>b</sup>	6,96 ± 0,21 <sup>a</sup>	0,22

Resultados expressos como média ± desvio padrão de 3 determinações. D.M.S.: diferença mínima significativa ao nível de erro de 5% pelo Teste de Tukey. Em cada linha, médias seguidas de letras iguais não diferem significativamente entre si ao nível de erro de 5%.

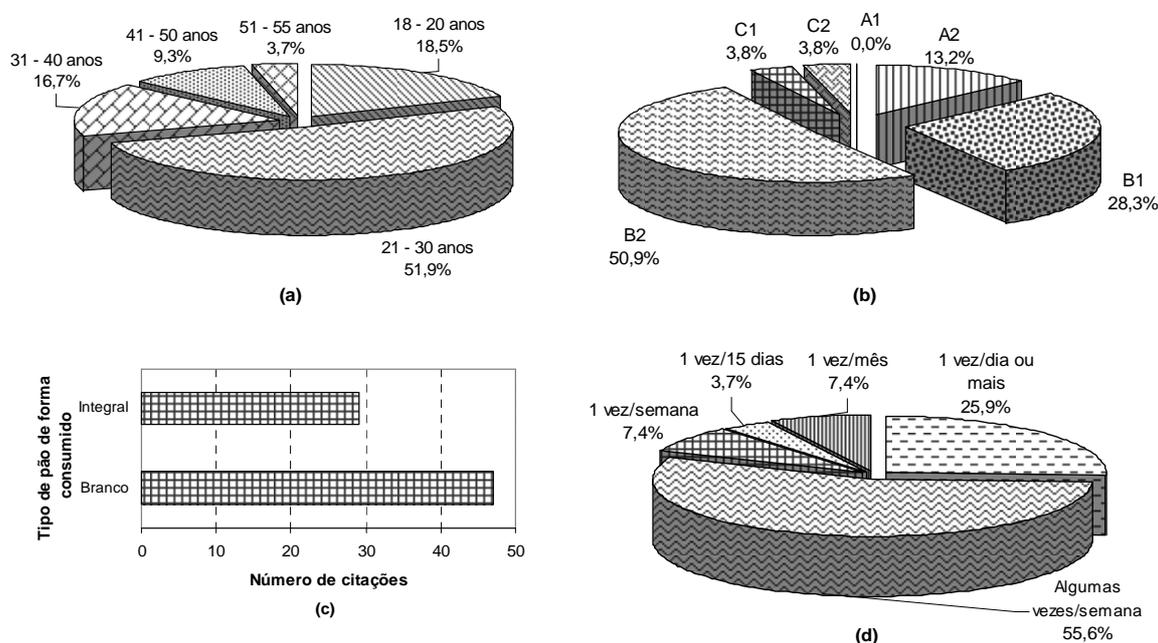
Kale *et al.* (2002) comentam que além da formulação, as condições do processo podem afetar a formação de AR: ao aumentar a temperatura e o tempo de assamento de pães de farinha de trigo refinado e de cevada integral, o teor de AR é aumentado; níveis mais elevados de água na formulação reduzem o teor de AR enquanto o aumento de gordura não afeta a formação de AR. Ostman *et al.* (2002) demonstraram que a digestibilidade do amido é reduzida na presença de ácido láctico, tanto adicionado como produzido durante a fermentação da massa. Durante o aquecimento, o ácido láctico promove interações do amido com o glúten, reduzindo sua biodisponibilidade.

Provavelmente, o teor de AR das três amostras foi influenciado tanto pelo fenômeno de gelatinização como de retrogradação. A gelatinização do amido ocorre simultaneamente à coagulação das proteínas durante o assamento para a transformação da massa em miolo (SLUIMER, 2005) e é responsável pela perda de parte da resistência do amido (ZHANG *et al.*, 2005). Por outro lado, após o assamento, quando o pão é resfriado, inicia-se o processo de retrogradação, em que as frações de amilose e amilopectina se reassociam, mudando a estrutura do amido e também a sua digestibilidade.

### 4.5.3 Análise sensorial

#### 4.5.3.1 Caracterização do grupo de consumidores

Dentre os consumidores recrutados, havia 46 mulheres e 8 homens. As características do grupo, quanto à faixa etária, classe social, tipos de pão de forma consumidos e frequência de consumo, são apresentadas na Figura 36.



**Figura 36.** Características do grupo de consumidores quanto à faixa etária (a), classe social (b), tipos de pão de forma consumidos (c) e frequência de consumo (d).

#### 4.5.3.2 Teste de aceitabilidade e intenção de compra

Os resultados médios obtidos no teste de aceitabilidade dos produtos de modo global e, em particular da aparência, aroma, sabor, maciez e sabor residual, bem como na avaliação da intenção de compra são mostrados na Tabela 30. Os percentuais de aceitação (notas 9 a 6), indiferença (nota 5) e rejeição (notas 4 a 1) e os percentuais de intenção de compra positiva (notas 5 e 4), indiferente (nota 3) e negativa (notas 2 e 1) das amostras avaliadas são mostrados na Tabela 31. Os gostos e desgostos descritos pelos consumidores são apresentados nas Tabelas 32 e 33, respectivamente.

Na avaliação da aceitabilidade do produto de modo global e da maciez, as amostras Padrão e 10% FBV com médias situadas entre “gostei” e “gostei muito” não diferiram entre si ( $p < 0,05$ ), mas diferiram da amostra 20% FBV que apresentou média situada entre “gostei pouco” e “gostei” para o produto de modo global e correspondente a “gostei pouco” para a maciez.

Quanto à aparência, as três amostras diferiram significativamente entre si ( $p < 0,05$ ). Enquanto a amostra Padrão obteve média correspondente a “gostei muito”, 10% FBV e 20% FBV obtiveram médias correspondentes a “gostei” e “gostei pouco”, respectivamente.

Com médias correspondentes a “gostei” para o aroma e sabor e entre “gostei pouco” e “gostei” para o sabor que fica na boca, a amostra 20% FBV apresentou diferença significativa da amostra Padrão, mas não diferiu de 10% FBV, que apresentou médias correspondentes a “gostei” e também não diferiu ( $p < 0,05$ ) do Padrão.

Quanto à intenção de compra, as amostras 10% FBV e 20% FBV não diferiram significativamente entre si tendo apresentado médias entre “talvez comprasse, talvez não comprasse” e “provavelmente compraria”, mas diferiram do Padrão que apresentou média entre “provavelmente compraria” e “certamente compraria”.

**Tabela 30.** Resultados obtidos no teste para avaliação da aceitabilidade dos produtos de modo global e, em particular, da aparência, aroma, sabor, maciez e sabor residual e na avaliação da intenção de compra das amostras de pão de forma.

Aceitabilidade	Pão de forma			D.M.S.
	Padrão	10% FBV	20% FBV	
Modo global	7,6 ± 1,0 <sup>a</sup>	7,3 ± 0,9 <sup>a</sup>	6,6 ± 1,3 <sup>b</sup>	0,4
Aparência	7,8 ± 0,8 <sup>a</sup>	6,8 ± 1,0 <sup>b</sup>	5,8 ± 1,7 <sup>c</sup>	0,5
Aroma	7,4 ± 1,1 <sup>a</sup>	7,0 ± 1,2 <sup>ab</sup>	6,8 ± 1,0 <sup>b</sup>	0,5
Sabor	7,5 ± 1,1 <sup>a</sup>	7,2 ± 1,1 <sup>ab</sup>	6,9 ± 1,2 <sup>b</sup>	0,4
Maciez	7,6 ± 1,0 <sup>a</sup>	7,3 ± 1,2 <sup>a</sup>	6,1 ± 1,7 <sup>b</sup>	0,5
Sabor que fica na boca	7,2 ± 1,0 <sup>a</sup>	6,8 ± 1,5 <sup>ab</sup>	6,4 ± 1,4 <sup>b</sup>	0,5
<b>Intenção de compra</b>	4,3 ± 0,7 <sup>a</sup>	3,7 ± 1,1 <sup>b</sup>	3,3 ± 1,1 <sup>b</sup>	0,41

Resultados expressos como média ± desvio-padrão. D.M.S.: diferença mínima significativa ao nível de erro de 5% pelo Teste de Tukey. Em cada linha, valores seguidos de letras iguais não diferem significativamente entre si.

Na Tabela 31, verifica-se que a amostra 10% FBV apresentou elevadas freqüências de aceitação, em geral acima de 90% e próximas das apresentadas pela amostra Padrão. O sabor e a maciez foram citados por 46% dos consumidores como os atributos que mais os agradaram (Tabela 32). A maior freqüência de rejeição desta amostra se refere ao sabor residual (pouco acima de 10%), embora essa característica tenha sido citada como uma razão de desagrado por apenas 5% dos consumidores (Tabela 33).

Quanto à amostra 20% FBV, as maiores freqüências de rejeição foram observadas para a aparência e a maciez (24,0% e 18,6%, respectivamente), certamente os atributos responsáveis pela intenção negativa de compra de 24% para esta amostra. Conforme apresentado na Tabela 33, a aparência (em especial a cor escura do miolo) e a pouca maciez/massa compacta foram as características que mais desagradaram, citadas por mais de 40% dos consumidores. Por outro lado, o sabor dessa amostra foi considerado um motivo de agrado para 59% dos consumidores que avaliaram as amostras.

**Tabela 31.** Frequências de aceitação, indiferença e rejeição ao produto de modo global, aparência, aroma, sabor, maciez e sabor residual e frequências de intenção de compra positiva, indiferente e negativa das amostras de pão de forma avaliadas.

Aceitabilidade		Pão de forma		
		Padrão	10% FBV	20% FBV
Produto de modo global	Aceitação (%)	98,2	98,2	87,0
	Indiferença (%)	0,0	1,8	1,8
	Rejeição (%)	1,8	0,0	11,2
Aparência	Aceitação (%)	100,0	92,6	74,2
	Indiferença (%)	0,0	1,8	1,8
	Rejeição (%)	0,0	5,6	24,0
Aroma	Aceitação (%)	94,4	87,0	90,8
	Indiferença (%)	5,6	11,1	7,4
	Rejeição (%)	0,0	1,9	1,8
Sabor	Aceitação (%)	98,2	94,4	92,6
	Indiferença (%)	0,0	1,9	3,6
	Rejeição (%)	1,8	3,7	3,8
Maciez	Aceitação (%)	98,1	92,6	72,2
	Indiferença (%)	0,0	1,8	9,2
	Rejeição (%)	1,9	5,6	18,6
Sabor residual	Aceitação (%)	94,4	83,3	79,6
	Indiferença (%)	5,6	5,5	9,2
	Rejeição (%)	0,0	11,2	11,2
Intenção de compra	Positiva (%)	87,0	62,9	50,0
	Indiferente (%)	11,1	18,5	25,9
	Negativa (%)	1,9	18,6	24,1

**Tabela 32.** Gostos descritos pelos consumidores em relação às amostras de pão de forma (números indicam a frequência com que foram citados).

Gostos	Pão de forma		
	Padrão	10% FBV	20% FBV
Aparência	9	3	3
Cor do miolo	4	1	-
<b>Total de menções positivas sobre a aparência</b>	<b>13</b>	<b>4</b>	<b>3</b>
<b>Aroma</b>	<b>7</b>	<b>10</b>	<b>7</b>
<b>Sabor</b>	<b>24</b>	<b>25</b>	<b>32</b>
Maciez	25	25	12
Textura	2	5	5
<b>Total de menções positivas sobre a textura</b>	<b>27</b>	<b>30</b>	<b>17</b>
<b>Tudo</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>-</b>
<b>TOTAL DE MENÇÕES POSITIVAS</b>	<b>74</b>	<b>71</b>	<b>59</b>

**Tabela 33.** Desgostos descritos pelos consumidores em relação às amostras de pão de forma (números indicam a frequência com que foram citados).

Desgostos	Pão de forma		
	Padrão	10% FBV	20% FBV
Aparência	2	10	8
Cor escura do miolo	-	10	14
<b>Total de menções negativas sobre a aparência</b>	<b>2</b>	<b>20</b>	<b>22</b>
<b>Aroma</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>2</b>
Sabor	5	10	8
Sabor residual	2	3	-
<b>Total de menções negativas sobre o sabor</b>	<b>7</b>	<b>13</b>	<b>8</b>
Pouca maciez	2	1	16
Textura	1	1	3
Casca firme	8	3	-
Seco	3	-	1
Massa compacta	-	-	7
<b>Total de menções negativas sobre a textura</b>	<b>14</b>	<b>5</b>	<b>27</b>
<b>TOTAL DE MENÇÕES NEGATIVAS</b>	<b>27</b>	<b>42</b>	<b>59</b>
<b>Nada, gostou de tudo</b>	<b>14</b>	<b>5</b>	<b>2</b>

#### 4.5.4 Volume específico

O volume específico é um parâmetro freqüentemente usado para avaliar a qualidade de pães. Sluimer (2005) menciona que um volume específico abaixo de um determinado valor afeta negativamente a qualidade dos pães, porém, um volume específico muito elevado não implica necessariamente em maior qualidade. Na Tabela 34, são mostrados os volumes específicos dos pães de forma padrão e com 10% e 20% de farinha de banana verde e na Figura 37, os pães obtidos. O pão de forma padrão apresentou volume específico bastante próximo de 5 L/kg, citado por Sluimer (2005) como característico de pães de farinha de trigo e do valor de 4,10 L/kg, encontrado por Esteller (2007) como média dos volumes específicos de seis diferentes produtos comerciais do mercado brasileiro. As três amostras apresentaram volumes específicos dentro da faixa mencionada por Campbell e Mougeot (1999) para pães de forma (densidade de 0,20 a 0,35 kg/L).

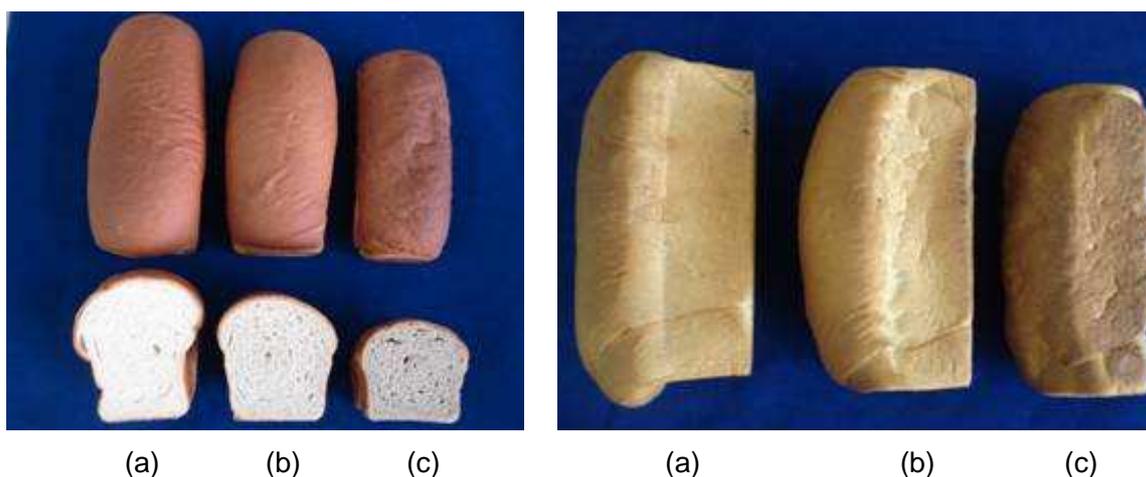
O volume específico dos pães está diretamente relacionado com a capacidade da massa em reter o gás produzido durante a etapa de fermentação. Essa capacidade de retenção de gás é inerente ao glúten presente na farinha de

trigo com as propriedades viscoelásticas adequadas à produção de pães (ATWELL, 2001). A substituição da farinha de trigo por outra farinha, ainda que em parte, resulta invariavelmente em pães com menor volume. Esteller (2007) menciona que pães com baixo volume específico apresentam aspecto desagradável ao consumidor, associado com alto teor de umidade, falhas no processo de fabricação, difícil mastigação, sabor impróprio e baixa conservação. Neste estudo, 13% dos consumidores que participaram do teste afetivo (item 4.5.3) citaram a massa compacta (ou seja, a estrutura mais fechada do miolo e, conseqüentemente, o menor volume específico do pão) como a característica de que menos gostaram na amostra com 20% de FBV. Não houve menção similar a esta para os demais pães.

**Tabela 34.** Volume específico dos pães de forma padrão, com 10% e 20% de farinha de banana verde.

Pão de forma	Volume específico (L/kg)
Padrão	4,81 ± 0,05 <sup>a</sup>
10% FBV	3,91 ± 0,07 <sup>b</sup>
20% FBV	2,81 ± 0,09 <sup>c</sup>
D.M.S.	0,18

Resultados expressos como média ± desvio padrão de 3 determinações. Médias seguidas de letras diferentes diferem entre si ao nível de significância de 5%.



**Figura 37.** Pão padrão (a), com 10% de FBV (b) e com 20% de FBV (c).

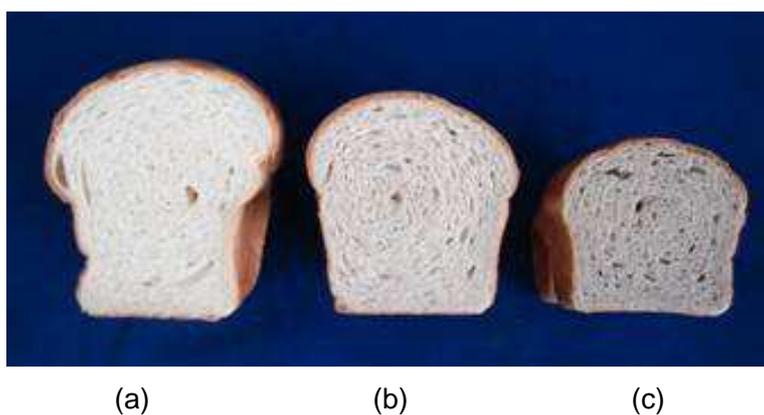
#### 4.5.5 Cor

Na Tabela 35, são apresentados os parâmetros de cor dos miolos dos pães de forma padrão e com 10% e 20% de FBV e na Figura 38 são mostrados esses miolos. Os parâmetros de cor do pão de forma padrão são próximos das médias das amostras comerciais obtidas por Esteller (2007):  $L^*=62,37$ ;  $a^*=1,14$ ;  $b^*=10,88$ . A substituição da farinha de trigo por FBV deixou o pão mais escuro (menor luminosidade –  $L^*$ ) e com tom menos esverdeado ( $< -a^*$ ) ou mais avermelhado ( $+a^*$ ) e mais amarelo ( $>+b^*$ ). Essa diferença na cor também pode ter sido influenciada pela estrutura mais fechada dos pães com FBV.

**Tabela 35.** Parâmetros de cor CIELab dos miolos dos pães de forma padrão, com 10% e 20% de farinha de banana verde.

Pão de forma	$L^*$	$a^*$	$b^*$
Padrão	$64,51 \pm 3,44^a$	$-1,61 \pm 0,16^c$	$9,56 \pm 0,98^b$
10% FBV	$58,16 \pm 1,49^b$	$-0,88 \pm 0,08^b$	$9,77 \pm 0,73^b$
20% FBV	$57,01 \pm 2,27^b$	$0,55 \pm 0,04^a$	$12,42 \pm 0,61^a$
D.M.S.	6,34	0,26	1,97

Resultados expressos como média  $\pm$  desvio padrão de 3 determinações. Para cada parâmetro, médias seguidas de letras diferentes diferem significativamente entre si ao nível de significância de 5%.



**Figura 38.** Miolo do pão padrão (a), com 10% de FBV (b) e com 20% de FBV (c).

Esteller (2007) comenta que a cor é uma importante característica de produtos panificáveis e que, juntamente com a textura e o aroma, contribui para a

preferência do consumidor. No teste afetivo das amostras de pão de forma (item 4.5.3), a cor escura do miolo foi citada por 19% e 26% dos consumidores como a principal razão de desagrado pelas amostras com 10% e com 20% de FBV, respectivamente.

#### **4.5.6 Dureza**

Na Tabela 36, são mostrados os resultados da dureza das amostras de pão de forma padrão, com 10% e com 20% de FBV, durante o período de estocagem à temperatura ambiente.

A dureza, um dos parâmetros de textura, é definida sensorialmente como a força necessária para comprimir um alimento sólido entre os dentes molares ou entre a língua e o palato se o alimento for semi-sólido. Como medida física, a dureza é a força necessária para produzir uma certa deformação no alimento (CIVILLE; SZCZESNIAK, 1973). A dureza, ou pelo contrário, a maciez depende principalmente da adição de determinados ingredientes na formulação, tais como gordura, emulsificantes e enzimas. O volume específico também exerce uma importante influência na maciez: quanto maior o volume específico, maior a maciez (SLUIMER, 2005). Como as formulações estudadas continham os mesmos ingredientes e nas mesmas proporções, a maior dureza das amostras com FBV, especialmente com 20%, certamente está relacionada ao menor desenvolvimento da massa e conseqüentemente à sua estrutura mais fechada e menor volume específico. Embora sensorialmente a maciez da amostra com 10% de FBV tenha sido tão bem aceita quanto a maciez da amostra padrão (Tabela 30), dada a sensibilidade do aparelho usado na medida física, as três amostras diferiram significativamente entre si ( $p \leq 0,05$ ) em todos os dias de avaliação.

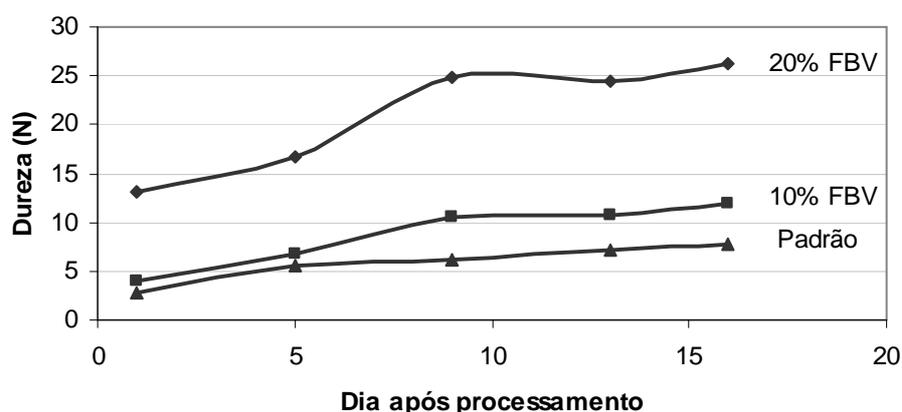
Enquanto 35% dos consumidores consideraram a textura pouco macia do pão com 20% de FBV o principal motivo de rejeição, a maciez do pão com 10% de FBV foi citada por 55% dos consumidores como a característica que eles mais gostaram.

Durante a estocagem, o pão envelhece como resultado da retrogradação do amido e suas características mudam completamente ao longo dos dias. O miolo se torna mais duro, alterando também as características de mastigação. Embora o teor de umidade de um pão envelhecido não seja necessariamente menor, a sensação na boca é de um produto seco e que requer menos tempo de mastigação. A análise da dureza ao longo dos dias feita em um texturômetro é uma forma de medir o envelhecimento dos pães (SLUIMER, 2005). Na Figura 39, observa-se que o aumento de dureza foi bastante pronunciado até o nono dia, tendendo ao equilíbrio no restante do período avaliado, provavelmente devido à presença de ingredientes como gordura, leite em pó e emulsificantes (monoglicerídeos contidos no condicionador de massa).

**Tabela 36.** Dureza dos pães de forma padrão, com 10% e 20% de farinha de banana verde durante o período de estocagem.

Pão de forma	Dureza (N)				
	Dia 1	Dia 5	Dia 9	Dia 13	Dia 16
Padrão	2,8 ± 0,1 <sup>c</sup>	5,6 ± 0,2 <sup>c</sup>	6,3 ± 0,2 <sup>c</sup>	7,2 ± 0,1 <sup>c</sup>	7,7 ± 0,3 <sup>c</sup>
10% FBV	3,9 ± 0,1 <sup>b</sup>	6,8 ± 0,2 <sup>b</sup>	10,5 ± 0,2 <sup>b</sup>	10,8 ± 0,8 <sup>b</sup>	12,0 ± 0,8 <sup>b</sup>
20% FBV	13,1 ± 0,2 <sup>a</sup>	16,7 ± 0,8 <sup>a</sup>	24,8 ± 1,1 <sup>a</sup>	24,5 ± 0,6 <sup>a</sup>	26,3 ± 1,7 <sup>a</sup>
D.M.S.	0,24	0,85	1,09	0,94	1,83

Resultados expressos como média ± desvio padrão de 5 determinações. Em cada tempo (coluna), médias seguidas de letras diferentes diferem significativamente entre si ao nível de significância de 5%.



**Figura 39.** Dureza dos pães de forma padrão e com 10% e 20% de FBV ao longo do período de estocagem.

## 4.6 Avaliação da aplicação da FBV em barras de cereais

### 4.6.1 Composição centesimal das barras de cereais com FBV

As características das barras de cereais padrão, com 10% e 20% de FBV quanto à composição centesimal são mostradas na Tabela 37.

A partir de resultados apresentados na Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (FCF/USP, 2008), verifica-se que a formulação padrão, quando comparada a dois produtos comerciais do mercado brasileiro, apresentou maior teor de lipídios e menor teor de FAT, provavelmente em função de diferenças nas formulações.

**Tabela 37.** Composição centesimal das barras de cereais padrão e com 10% e 20% de farinha de banana verde (base seca).

Determinações	Barra de cereais			D.M.S.
	Padrão	10% FBV	20% FBV	
Umidade (g/100g)	12,30 ± 0,05 <sup>a</sup>	11,50 ± 0,08 <sup>b</sup>	11,73 ± 0,20 <sup>b</sup>	0,31
Proteína – N X 6,25 (g/100g)	5,95 ± 0,01 <sup>a</sup>	5,13 ± 0,05 <sup>b</sup>	3,93 ± 0,01 <sup>c</sup>	0,08
Lipídios (g/100g)	5,44 ± 0,03 <sup>a</sup>	4,75 ± 0,07 <sup>b</sup>	4,47 ± 0,11 <sup>c</sup>	0,20
Cinzas (g/100g)	1,33 ± 0,02 <sup>b</sup>	1,36 ± 0,01 <sup>b</sup>	1,59 ± 0,00 <sup>a</sup>	0,04
FAT <sup>1</sup> (g/100g)	3,54 ± 0,08 <sup>b</sup>	3,70 ± 0,08 <sup>b</sup>	4,00 ± 0,08 <sup>a</sup>	0,20
Carboidratos <sup>2</sup> (g/100g)	83,75 ± 0,09 <sup>c</sup>	85,05 ± 0,19 <sup>b</sup>	86,02 ± 0,04 <sup>a</sup>	0,32

Resultados expressos como média ± desvio padrão de 3 determinações. <sup>1</sup>Fibra alimentar total. <sup>2</sup>Calculado por diferença: 100-(proteína+lipídios totais+cinzas+FAT). D.M.S.: diferença mínima significativa ao nível de erro de 5% pelo Teste de Tukey. Em cada linha, médias seguidas de letras iguais não diferem significativamente entre si ao nível de erro de 5%.

### 4.6.2 Teor de amido resistente

A adição gradual de FBV teve grande influência no aumento significativo ( $p < 0,05$ ) do teor de AR, conforme mostrado na Tabela 38. Como no processo de fabricação das barras, os cereais e a FBV da fase sólida não passam por processo térmico e, portanto, não têm seu amido gelatinizado, o teor de AR dos ingredientes é mantido no produto final.

**Tabela 38.** Teor de AR das barras de cereais padrão e com 10% e 20% de farinha de banana verde (base seca).

Determinações	Barra de cereais			D.M.S.
	Padrão	10% FBV	20% FBV	
AR (g/100g)	2,87 ± 0,04 <sup>c</sup>	6,12 ± 0,12 <sup>b</sup>	11,16 ± 0,10 <sup>a</sup>	0,14

Resultados expressos como média ± desvio padrão de 3 determinações. D.M.S.: diferença mínima significativa ao nível de erro de 5% pelo Teste de Tukey. Em cada linha, médias seguidas de letras iguais não diferem significativamente entre si ao nível de erro de 5%.

#### 4.6.3 Atividade de água

Na Tabela 39, são apresentados os resultados de atividade de água das barras de cereais padrão e com 10% e 20% de FBV. As três amostras apresentaram valores inferiores a 0,60, o que torna esse produto microbiologicamente estável, de acordo com Troller (1980).

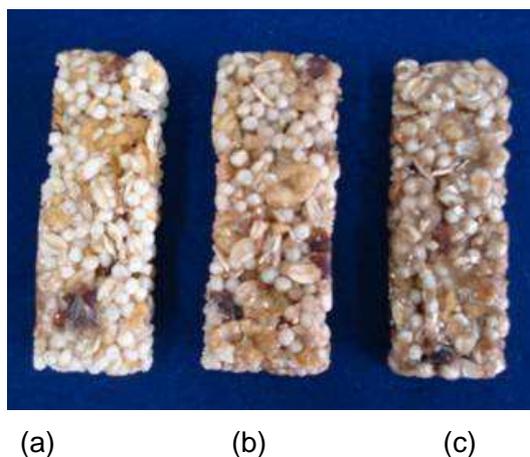
**Tabela 39.** Atividade de água das barras de cereais padrão, com 10% e 20% de farinha de banana verde.

Barra de cereais	Aw
Padrão	0,552 ± 0,003 <sup>b</sup>
10% FBV	0,586 ± 0,004 <sup>a</sup>
20% FBV	0,557 ± 0,002 <sup>b</sup>
D.M.S.	0,007

Resultados expressos como média ± desvio padrão de 3 determinações. Médias seguidas de letras diferentes diferem significativamente entre si ao nível de significância de 5%.

#### 4.6.4. Análise sensorial

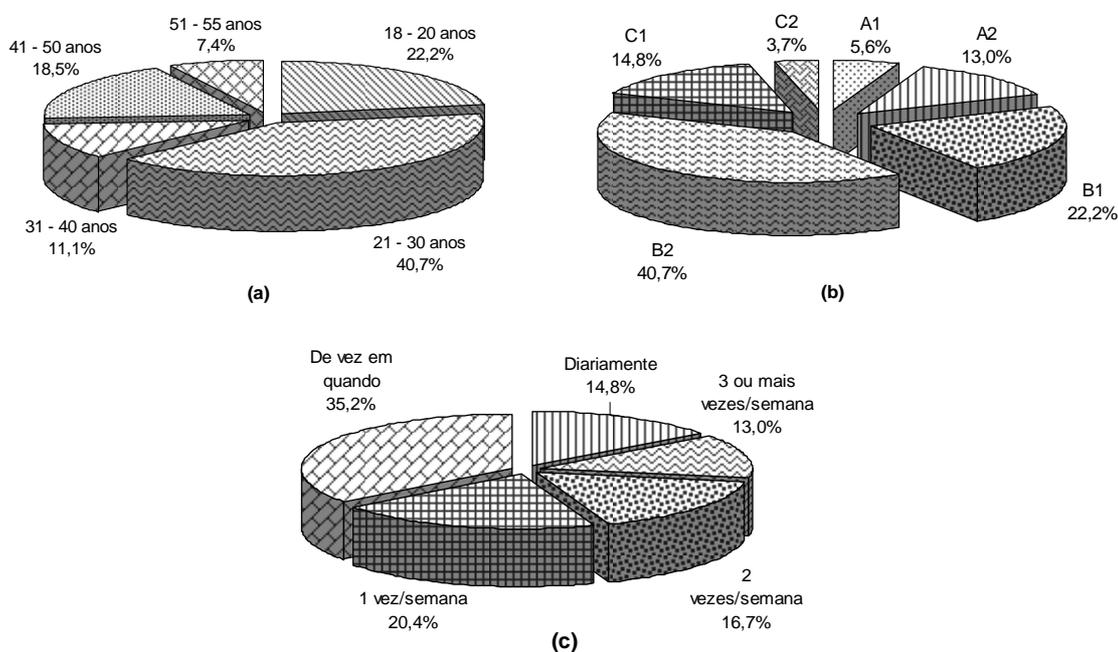
Na Figura 40, são mostradas as barras de cereais padrão e com 10% e 20% de farinha de banana verde.



**Figura 40.** Barras de cereais padrão (a), com 10% de FBV (b) e com 20% de FBV (c).

#### 4.6.4.1 Caracterização do grupo de consumidores

Dentre os consumidores recrutados, havia 41 mulheres e 13 homens. As características do grupo quanto à faixa etária, classe social e frequência de consumo de barras de cereais são apresentadas na Figura 41.



**Figura 41.** Características do grupo de consumidores quanto à faixa etária (a), classe social (b) e frequência de consumo (c).

#### 4.6.4.2 Teste de aceitabilidade e intenção de compra

Os resultados médios obtidos no teste de aceitabilidade dos produtos de modo global e, em particular da aparência, aroma, sabor e textura, bem como na avaliação da intenção de compra são mostrados na Tabela 40. Os percentuais de aceitação (notas 9 a 6), indiferença (nota 5) e rejeição (notas 4 a 1) e os percentuais de intenção de compra positiva (notas 5 e 4), indiferente (nota 3) e negativa (notas 2 e 1) das amostras avaliadas são mostrados na Tabela 41. Os gostos e desgostos descritos pelos consumidores são apresentados nas Tabelas 42 e 43, respectivamente.

Na avaliação da aceitabilidade do produto de modo global, da aparência e da textura, as amostras Padrão e 10% FBV não diferiram entre si ( $p < 0,05$ ) mas diferiram da amostra 20% FBV, tendo apresentado médias conforme descrito abaixo:

- ✓ Produto de modo global: Padrão e 10% FBV apresentaram médias correspondentes a “gostei” e 20% FBV, média correspondente a “gostei pouco”;
- ✓ Aparência: Padrão e 10% FBV apresentaram médias correspondentes a “gostei” e 20% FBV, média correspondente a “não gostei nem desgostei”;
- ✓ Textura: as amostras Padrão e 10% FBV apresentaram médias situadas entre “gostei pouco” e “gostei” e 20% FBV, média correspondente a “não gostei nem desgostei”.

Quanto ao aroma e ao sabor, a amostra 20% FBV, com médias entre “gostei pouco” e “gostei”, apresentou diferença significativa da amostra Padrão, mas não diferiu de 10% FBV, com médias correspondentes a “gostei” e que também não diferiu ( $p < 0,05$ ) do Padrão.

Quanto à intenção de compra, não houve diferença significativa entre Padrão e 10% FBV, que apresentaram médias situadas entre “talvez comprasse, talvez não comprasse” e “provavelmente compraria”. Ambas as amostras diferiram

de 20% FBV, com média entre “provavelmente não compraria” e “talvez comprasse, talvez não comprasse”.

**Tabela 40.** Resultados obtidos no teste para avaliação da aceitabilidade dos produtos de modo global e, em particular, da aparência, aroma, sabor e textura e na avaliação da intenção de compra das amostras de barra de cereais.

Aceitabilidade	Barra de cereais			D.M.S.
	Padrão	10% FBV	20% FBV	
Modo global	7,0 ± 0,9 <sup>a</sup>	6,7 ± 1,4 <sup>a</sup>	5,8 ± 1,7 <sup>b</sup>	0,5
Aparência	7,2 ± 1,5 <sup>a</sup>	6,7 ± 1,5 <sup>a</sup>	5,2 ± 2,2 <sup>b</sup>	0,7
Aroma	7,0 ± 1,1 <sup>a</sup>	6,8 ± 1,4 <sup>ab</sup>	6,4 ± 1,6 <sup>b</sup>	0,5
Sabor	7,0 ± 1,2 <sup>a</sup>	7,0 ± 1,5 <sup>ab</sup>	6,3 ± 1,9 <sup>b</sup>	0,6
Textura	6,5 ± 1,8 <sup>a</sup>	6,1 ± 2,1 <sup>a</sup>	4,8 ± 2,2 <sup>b</sup>	0,8
<b>Intenção de compra</b>	3,5 ± 1,1 <sup>a</sup>	3,4 ± 1,2 <sup>a</sup>	2,5 ± 1,1 <sup>b</sup>	0,4

Resultados expressos como média ± desvio-padrão. D.M.S.: diferença mínima significativa ao nível de erro de 5% pelo Teste de Tukey. Em cada linha, valores seguidos de letras iguais não diferem significativamente entre si.

Na Tabela 41, verifica-se que, embora menores que o Padrão, a amostra 10% FBV apresentou freqüências de aceitação acima de 80%, exceto para a textura, cuja rejeição foi de 26%. Verifica-se, na Tabela 43, que o excesso de firmeza desta amostra foi motivo de desagrado para 24% dos consumidores.

Exceto para o aroma, a amostra 20% FBV apresentou freqüências de rejeição acima de 20%, sendo que a textura foi o atributo com maior rejeição e que foi a principal responsável pela elevada intenção negativa de compra, uma vez que a firmeza excessiva foi considerada a principal razão de desagrado para 50% dos consumidores que participaram da avaliação.

**Tabela 41.** Frequências de aceitação, indiferença e rejeição aos atributos avaliados e frequências de intenção de compra positiva, indiferente e negativa das amostras de barra de cereais avaliadas.

Aceitabilidade		Barra de cereais		
		Padrão	10% FBV	20% FBV
Produto de modo global	Aceitação (%)	96,4	88,8	74,1
	Indiferença (%)	3,6	1,8	1,8
	Rejeição (%)	0,0	9,4	24,1
Aparência	Aceitação (%)	92,6	85,2	59,2
	Indiferença (%)	0,0	3,6	1,8
	Rejeição (%)	7,4	11,2	39,0
Aroma	Aceitação (%)	88,9	87,0	79,6
	Indiferença (%)	11,1	5,6	5,6
	Rejeição (%)	0,0	7,4	14,8
Sabor	Aceitação (%)	94,4	87,0	75,9
	Indiferença (%)	0,0	5,6	1,9
	Rejeição (%)	5,6	7,4	22,2
Textura	Aceitação (%)	77,8	72,2	53,7
	Indiferença (%)	0,0	1,8	1,8
	Rejeição (%)	22,2	26,0	44,5
Intenção de compra	Positiva (%)	53,7	46,3	22,3
	Indiferente (%)	27,8	35,2	22,2
	Negativa (%)	18,5	18,5	55,5

**Tabela 42.** Principais gostos descritos pelos consumidores em relação às amostras de barra de cereais (os números indicam a frequência com que foram citados).

Gostos	Barra de cereais		
	Padrão	10% FBV	20% FBV
<b>Aparência</b>	<b>14</b>	<b>6</b>	<b>5</b>
<b>Aroma</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>1</b>
<b>Sabor</b>	<b>28</b>	<b>25</b>	<b>34</b>
Crocância	5	2	5
Textura	11	14	3
<b>Total de menções positivas sobre a textura</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>8</b>
<b>TOTAL DE MENÇÕES POSITIVAS</b>	<b>61</b>	<b>50</b>	<b>48</b>

**Tabela 43.** Principais desgostos descritos pelos consumidores em relação às amostras de barra de cereais (os números indicam a frequência com que foram citados).

Desgostos	Barra de cereais		
	Padrão	10% FBV	20% FBV
Aparência	2	3	15
Cor	3	2	8
<b>Total de menções negativas sobre a aparência</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>23</b>
<b>Aroma fraco</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
Sabor	4	3	4
Sabor fraco	6	6	2
<b>Total de menções negativas sobre o sabor</b>	<b>10</b>	<b>9</b>	<b>6</b>
Pouco firme	2	1	-
Muito firme, dura	5	13	27
Pouco crocante	2	1	-
Textura	6	6	5
<b>Total de menções negativas sobre a textura</b>	<b>15</b>	<b>21</b>	<b>32</b>
<b>TOTAL DE MENÇÕES NEGATIVAS</b>	<b>32</b>	<b>36</b>	<b>62</b>
<b>Nada, gostou de tudo</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>1</b>

#### 4.6.5 Dureza

Os resultados da dureza das barras de cereais padrão, com 10% e 20% de FBV são mostrados na Tabela 44. O aumento de FBV causou um aumento significativo ( $p < 0,05$ ) na dureza das barras em função da substituição dos flocos de arroz e de milho pela FBV que, ao se dispersar na solução ligante, provocou maior agregação dos cereais e, conseqüentemente, menos espaços intersticiais e maior força para a compressão do produto. A diminuição dos flocos de arroz, que são um produto expandido e com boa aeração, também aumentou a força requerida para a compressão do produto.

**Tabela 44.** Dureza das barras de cereais padrão, com 10% e 20% de farinha de banana verde.

Barra de cereais	Dureza (N)
Padrão	180,2 ± 29,3 <sup>c</sup>
10% FBV	281,1 ± 38,0 <sup>b</sup>
20% FBV	333,1 ± 12,99 <sup>a</sup>
D.M.S.	48,4

Resultados expressos como média ± desvio padrão de 5 determinações. Médias seguidas de letras diferentes diferem entre si ao nível de significância de 5%.

## 5. CONCLUSÕES

As três variedades de banana avaliadas inicialmente não diferiram significativamente entre si quanto à composição centesimal e ao teor de amido resistente. Portanto, a Nanicão Jangada foi escolhida como matéria-prima na seqüência do trabalho, por predominar na região em que as amostras foram coletadas.

O tratamento térmico a 135°C/30 segundos em autoclave a vapor foi definido, dentre as quatro condições estudadas, como o pré-tratamento para a retirada das cascas por permitir o fácil descascamento com o mínimo cozimento da polpa.

O emprego da combinação de ácido ascórbico (350 mg/L), ácido cítrico (5 g/L) e metabissulfito de sódio (125 mg/L) inibiu o escurecimento com alterações mínimas na cor da banana verde durante o processo de preparo.

A secagem da banana verde em tambor rotativo provocou perda de amido resistente de aproximadamente 95%, não sendo um processo adequado para a produção de uma farinha com alto teor deste componente.

O processo de atomização, dentro das faixas das condições operacionais estudadas, ocasionou perda de amido resistente entre 17,36 e 51,00%. Na melhor condição operacional (temperatura: 160°C, pressão do ar: 480 kPa e rotação da bomba de alimentação: 17 rpm), que levou em consideração também o rendimento do processo, a perda de AR foi de 24,45%, comparável à obtida pela secagem em bandejas (28,27%), mas 173% superior à do processo de liofilização.

Os processos de secagem em tambor rotativo, atomização e em bandejas deram origem a farinhas com cores diferentes da obtida por liofilização, que se apresentou mais clara e com tom avermelhado menos intenso que as demais.

As propriedades de pasta, o padrão de cristalinidade e as características morfológicas do amido da farinha de banana verde obtida em tambor rotativo mostraram-se típicos de amido gelatinizado. As demais amostras apresentaram

grânulos de amido com padrão de cristalinidade tipo C e similares ao do amido de banana verde nativo nos primeiros estádios de maturação.

A substituição de farinha de trigo por FBV em pão de forma, no nível de 10%, com o objetivo de aumentar o teor de AR, embora apresentando boa aceitação pelo consumidor, não é justificável.

Em barras de cereais, a adição gradual de FBV teve grande influência no aumento do teor de AR e, com 10% de FBV, as barras tiveram boa aceitação, sendo uma boa opção de produto enriquecido com AR. Acima desta substituição, houve grande efeito na textura das barras, resultando na menor aceitação do produto pelos consumidores.

#### **Sugestões para trabalhos futuros:**

- Estudar a perda de AR durante o tratamento térmico utilizado para facilitar o descascamento das bananas verdes e otimizar as condições operacionais para que a gelatinização e, conseqüentemente, a perda de amido resistente sejam mínimas também nesta etapa do processo.
- Estudar a funcionalidade tecnológica da farinha de banana verde pré-gelatinizada obtida pela secagem em tambor rotativo. Do ponto de vista econômico, tal produto pode ser uma opção para o uso da banana verde como matéria-prima.
- Estudar a viabilidade econômica de produção de farinha de banana verde pelos processos de liofilização e atomização para empresas que trabalham com esses processos e tenham ociosidade em suas linhas de produção, uma vez que permitem a obtenção de produtos bastante ricos nutricionalmente.
- Avaliar o emprego da FBV em formulações de granolas, barras de granola, pós para preparo de bebidas lácteas e outros produtos que não passem por tratamento térmico durante o processo produtivo.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AACC. AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. The definition of dietary fiber. AACC Report. **Cereal Foods World**, v.46, n.3, p.112-126, 2001.

ABEP. Associação *Brasileira* de Empresas de Pesquisa. **Critério de Classificação Econômica Brasil**. Disponível em: [www.abep.org/codigosguias/Criterio\\_Brasil\\_2008.pdf](http://www.abep.org/codigosguias/Criterio_Brasil_2008.pdf). Acesso em: 04 ago. 2009.

ADENIJI, T.A.; BARIMALAA, I.S.; ACHINEWHU, S.C. Evaluation of bunch characteristics and flour yield potential in black Sigatoka resistant plantain and banana hybrids. **Global Journal of Pure and Applied Sciences**, v.12, p. 41 – 43, 2006.

AGAMA-ACEVEDO, E.; ISLAS-HERNANDEZ, J.J.; OSORIO-DÍAZ, P.; RENDÓN-VILLALOBOS, R.; UTRILLA-COELLO, R.G.; ANGULO, O.; BELLO-PÉREZ, L.A. Pasta with unripe banana flour: physical, texture, and preference study. **Journal of Food Science**, v.74, n.6, p. 263 – 267, 2009.

ASP, N.G. Resistant starch. Proceedings from the second plenary meeting of EURESTA: European Flair Concerned Action 11, on physiological implications of the consumption of resistant starch in man. Creta, 29/05 a 02/06/1991. **European Journal of Clinical Nutrition**, v.46, supl.2: S1-148, 1992.

ATWELL, W.A. **Wheat flour**. St. Paul: American Association of Cereal Chemists, 2001, 134p.

BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I.S.; BRUNS, R.E. **Planejamento e otimização de experimentos**. Campinas: Editora da Unicamp, 1996, 299p.

BELLO-PÉREZ, L.A.; DE FRANCISCO, A.; AGAMA-ACEVEDO, E.; GUTIERREZ-MERAZ, F.; GARCÍA-SUAREZ, F.J.L. Morphological and molecular studies of banana starch. **Food Science and Technology International**, v.11, p. 367 – 372, 2005.

BELLO-PÉREZ, L.A.; AGAMA-ACEVEDO, E.; SAYAGO-AYERDI, S.G.; MORENO-DAMIAN, E.; FIGUEROA, J.D.C. Some structural, physicochemical and functional studies of banana starches isolated from two varieties growing in Guerrero, Mexico. **Starch/Stärke**, v. 52, p. 68 – 73, 2000.

BERRY, C.S. Resistant starch: Formation and measurement of starch that survives exhaustive digestion with amylolytic enzymes during the determination of dietary fibre. **Journal of Cereal Science**, v.4, n.4, p. 301 - 314, 1986.

BLEINROTH, E.W. Matéria-prima. In: MEDINA, J.C.; BLEINROTH, E.W.; DE MARTIN, Z.J.; TRAVAGLINI, D.A.; OKADA, M.; QUAST, D.G.; HASHIZUME, T.; MORETTI, V.A.; BICUDO NETO, L.C.; ALMEIDA, L.A.S.B.; RENESTO, O.V. **Banana: cultura, matéria-prima, processamento e aspectos econômicos**. 2ª ed. Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos, 1995, p. 133 – 196.

BOBBIO, P.A.; BOBBIO, F.O. **Química do processamento de alimentos**. Campinas, Fundação Cargill, 1984, p. 78 – 89.

BORGES, M. T. M. R. **Potencial vitamínico da banana verde e produtos derivados**. Campinas, 2003. 137p. Tese (Doutor em Ciência de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

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

BOSSCHER, D.; VAN CAILLIE-BERTRAND, M.; VAN CAUWENBERGH, R.; DEELSTRA, H. Availability of calcium iron and zinc from dairy infant formulas is affected by soluble dietary fibers and modified starch fractions. **Nutrition**, v. 19, n. 7-8, p. 641-645, 2003.

BOTREL, N.; SILVA, O.F.; BITTENCOURT, A.N. Procedimentos pós-colheita. In: MATSUURA, F.C.A.U.; FOLEGATTI, M.I.S. (Ed). **Banana: pós-colheita**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2001, cap. 6, p. 32 – 39.

BOX, G.E.P.; WETZ, J. Criteria for judging adequacy of estimation by an approximate response function. **University of Wisconsin Technical Report**, 9, 1973.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução CNS/MS nº 4 de 24 de novembro de 1988. Disponível em: <http://e-legis.anvisa.gov.br>. Acesso em 12 nov. 2009.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Portaria SVS/MS nº 27 de 13 de janeiro de 1998. Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br/e-legis/>. Acesso em: 07 dez. 2009.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução nº 386 de 05 de agosto de 1999. Disponível em: <http://e-legis.anvisa.gov.br>. Acesso em 12 nov. 2009.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 263 de 22 de setembro de 2005. Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br/e-legis/>. Acesso em 01 dez. 2009.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 68, 12 de dezembro de 2006. Umectabilidade. **Diário Oficial da União**, Brasília, p. 8, 14 de dezembro de 2006. Seção 1, 2006.

BROUNS, F.; KETTLITZ, B.; ARRIGONI, E. Resistant starch and the butyrate revolution. **Trends in Food Science and Technology**, v. 13, n. 8, p. 251-261, 2002.

CAMPBELL, G.M.; MOUGEOT, E. Creation and characterization of aerated food products. **Trends in Food Science and Technology**, v. 10, p. 283 – 296, 1999.

CARDENETTE, G.H.L. **Produtos derivados de banana verde (Musa spp.) e sua influência na tolerância à glicose e na fermentação colônica**. São Paulo, 2006. 175p. Tese (Doutor em Nutrição Experimental) - Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.

CERNING-BEROARD, J.; LE DIVIDICH, J. Feed value of some starchy tropical products: In vitro and in vivo study of sweet potato, yam, malanga, breadfruit, and banana. **Annales de Zootechnie**, v. 25, p. 155–168, 1976.

CHAIKAKDANUGULL, C.; THEERAKULKAIT, C.; WROLSTAD, R.E. Pineapple Juice and its fractions in enzymatic browning inhibition of banana [Musa (AAA Group) Gros Michel]. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.55, n.10, p.4252-4257, 2007.

CHELACK, B.J.; MORLEY, P.S.; HAINES, D.M. Evaluation of methods for dehydration of bovine colostrum for total replacement of normal colostrum in calves. **Canadian Veterinary Journal**, v. 34, n.7, p. 407-412, 1993.

CHOO, C.L.; AZIZ, N.A.A. Effects of banana flour and  $\beta$ -glucan on the nutritional and sensory evaluation of noodles. **Food Chemistry**, v. 119, n.1, p. 34-40, 2010.

CIVILLE, G.V. SZCZESNIAK, A.S. Guidelines to training a texture profile panel. **Journal of Texture Studies**, v. 4, p. 204 – 223, 1973.

CRUZ, G. L. **Dicionário das plantas úteis do Brasil**. 5ª ed. Rio de Janeiro: Editora Bertrand Brasil S.A. 1995, 599p.

CUMMINGS, J.H.; BEATTY, E. R.; KINGMAN, S.M.; BINGHAM, S.A.; ENGLYST, H.N.; Digestion and physiological properties of resistant starch in human large bowel. **British Journal of Nutrition**, v. 75, n. 5, p. 733 – 747, 1996.

CUMMINGS, J.H.; STEPHEN, A.M. Carbohydrate terminology and classification. **European Journal of Clinical Nutrition**, v.61, supl.1, S5–S18, 2007.

DANTAS, J.L.L.; SOARES FILHO, W.S.; Classificação botânica, origem e evolução. In: ALVES, E.J.; DANTAS, J.L.L.; SOARES FILHO, W.S.; SILVA, S.O.; OLIVEIRA, M.A.; SOUZA, L.S.; CINTRA, F.L.D.; BORGES, A.L.; OLIVEIRA, A.M.G.; OLIVEIRA, S.L.; FANCELLI, M.; CORDEIRO, Z.J.M.; SOUZA, J.S. **Banana para exportação**: aspectos técnicos da produção. 2.ed. Brasília: Embrapa – SPI, 1997, p. 9-13.

DANYEN, S.B.; BOODIA, N.V.; RUGGOO, A. Interaction effects between ascorbic acid and calcium chloride in minimizing browning of fresh-cut green banana slices. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 33, p. 12 – 26, 2009.

DARAMOLA, B.; OSANYINLUSI, S.A. Production, characterization and application of banana (*Musa spp*) flour in whole maize. **African Journal of Biotechnology**, v.5, n. 10, p. 992-995, 2006.

DE LA TORRE-GUTIÉRREZ, L.; CHEL-GUERRERO, L.A.; BETANCUR-ANCONA, D. Functional properties of square banana (*Musa balbisiana*) starch. **Food Chemistry**, v.106, p.1138–1144, 2008.

DI CIERO, P. **Biomassa de banana verde**. Disponível em: <http://www.prisciladiciero.com.br/blog/2009/11/12/banana-verde-o-poderoso-alimento-funcional/>. Acesso em: 11 fev. 2010.

DITCHFIELD, C. **Estudo do processamento contínuo do purê de banana**. Tese (Doutor) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

DITCHFIELD, C.; TADINI, C.C. Acompanhamento do processo de amadurecimento da banana nanicao (*Musa cavendishii* Lamb.). In: XVIII Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos, 2002. Porto Alegre. **Anais**. CD-ROM.

EERLINGEN, R.C.; DECEUNINCK, M.; DELCOUR, J.A. Enzyme-resistant starch. II. Influence of amylase chain length on resistant starch formation. **Cereal Chemistry**, v. 70, n.3, p. 345 – 350, 1993.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia40/AG01/Abertura.html>. Acesso em: 10 nov. 2009.

ENGLYST, H. N.; CUMMINGS, J. H. Digestion of the carbohydrates of banana (*Musa paradisiaca sapientum*) in the human small intestine. **American Journal of Clinical Nutrition**, v. 44, p. 42–50, 1986.

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

ENGLYST, H.N.; MACFARLANE, G.T. Breakdown of resistant and readily digestible starch by human gut bacteria. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 37, p. 699-706, 1986.

ESPINOSA-SOLIS, V.; JANE, J.; BELLO-PÉREZ, L.A. Physicochemical characteristics of starches from unripe fruits of mango and banana. **Starch/Starke**, v.61, p. 291 – 299, 2009.

ESTELLER, M.S. **Modificações estruturais de produtos panificados por processos de tratamentos térmico e bioquímico**. São Paulo, 2007. 154p. Tese (Doutor em Tecnologia Bioquímico-Farmacêutica) – Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

FAISANT, N.; BULEON, A.; COLONNA, P.; MOLIS, C.; LARTIGUE, S.; GALMICHE, J. P. ; CHAMP, M. Digestion of raw banana starch in the small intestine of healthy humans: Structural features of resistant starch. **British Journal of Nutrition**, v.73, p.111–123, 1995.

FARIA, D.C. **Biomassa da banana verde**. Disponível em: <http://nutrifuncionaldebora.blogspot.com/2009/08/biomassa-da-banana-verde.html>. Acesso em: 11 fev. 2010.

FAO. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Food and Agricultural commodities production**. Disponível em: <http://faostat.fao.org>. Acesso em: 09 nov. 2009.

FAO/WHO. FOOD AND AGRICULTURAL ORGANISATION/WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Report of the 27th Session of the Codex Committee on Nutrition and Foods for Special Dietary Uses**. Bonn, Germany, 21–25 November 2005. 2006.

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

FCF/USP. FACULDADE DE CIÊNCIAS FARMACÊUTICAS/UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. **Tabela Brasileira de Composição de Alimentos**. TBCAUSP 5.0, 2008. Disponível em: <http://www.fcf.usp.br/tabela/>. Acesso em: 03 fev. 2010.

FDA. US FOOD AND DRUG ADMINISTRATION. CFR - Code of Federal Regulations Title 21. Part 182: **Substances generally recognized as safe**.

Disponível em:

<http://www.accessdata.fda.gov/SCRIPTs/cdrh/cfdocs/cfcr/CFRSearch.cfm?>

Acesso em 12 nov. 2009.

FIPE. FUNDAÇÃO INSTITUTO DE PESQUISAS ECONÔMICAS. Estratificação do consumo de frutas. Capítulo 7. In: **Estudos sobre o mercado de frutas**. São Paulo: FIPE, 2004. Disponível em <http://www.agricultura.gov.br>. Acesso em 16 jul. 2005.

FOLEGATTI, M.I.S.; MATSUURA, F.C.A.U. Processamento. In: BORGES, A.L.; SOUZA, L.S. **O cultivo da bananeira**. Cruz das Almas: EMBRAPA, 2004, cap.13, p.235.

FREITAS, M.C. **Dietas ricas em amido resistente de bananas verdes (*Musa* AAA – Nanicão e *Musa* AAB – Terra) promovem alterações na função intestinal, no metabolismo lipídico e glicídico e na microbiota intestinal**. 2000. 112p. Tese (Doutor em Ciência da Nutrição) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.

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

GARCIA, E.; LAJOLO, F.M. Starch transformation during banana ripening: The amylase and glucosidase behavior. **Journal of Food Science**, v.53, p.1181–1186, 1988.

GEE, J.M.; JOHNSON, I.T.; LUND, E.K. Physiological properties of resistant starch. **European Journal of Clinical Nutrition**, v. 46, supl. 2, S125, 1992.

GOÑI, I.; GARCÍA-DIZ, L.; MAÑAS, E.; SAURA-CALIXTO, F. Analysis of resistant starch: a method for foods and food products. **Food Chemistry**, v. 56, n. 4, p. 445– 449, 1996.

GONZÁLEZ-SOTO, R. A.; MORA-ESCOBEDO, R.; HERNÁNDEZ-SÁNCHEZ, H.; SÁNCHEZ-RIVERA, M.; BELLO-PÉREZ, L.A. Extrusion of banana starch: characterization of the extrudates. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 87, p. 348–356, 2007.

GORDON, D.T. Defining dietary fiber – progress report. **Cereal Foods World**, v. 44, n.5, p.336, 1999.

HORWITZ, W. (Ed.) **Official methods of analysis of AOAC International**. 18<sup>th</sup> ed. Gaithersburg: AOAC International, 2005.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Banco de Dados Agregados. Sistema IBGE de Recuperação Automática. Disponível em: [www.sidra.ibge.gov.br/bda/agric](http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/agric). Acesso em 09 nov. 2009.

JANE, J. L.; KASEMSUWAN, T.; LEAS, S.; ZOBEL, H.; ROBYT, J. F. Anthology of starch granule morphology by scanning electron microscopy. **Starch/Staerke**, v.46, p.121–129, 1994.

JAYARAMAN, K.S.; DAS GUPTA, D.K. Drying of fruits and vegetables. In: MUJUMDAR, A.S. (ed). **Handbook of industrial drying**. 2<sup>nd</sup> ed. New York: Marcel Dekker, 1995, vol 1, chap. 21, p. 643 – 690.

JENKINS, J.A.; VUKSAN, V.; KENDALL, C.W.C. Physiological effects of resistant starches on fecal bulk, short chain fatty acids, blood lipids and glycaemic index. **Journal of the American College of Nutrition**, v. 17, n. 6, p. 609-616, 1998.

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

KALE, C.K.; KOTECHA, P.M.; CHAVAN, J.K.; KADAM, S.S. Effect of processing conditions of bakery products on formation of resistant starch. **Journal of Food Science and Technology**, v. 39, p. 520 – 524, 2002.

KAYISU, K.; HOOD, L. F. Molecular structure of banana starch. **Journal of Food Science**, v.46, p.1894 – 1897, 1981.

KAYISU, K.; HOOD, L.F.; VANSOEST; P.J. Characterization of starch and fiber of banana fruit. **Journal of Food Science**, v.46, p.1885–1890, 1981.

LANNES, S. C. S.; MEDEIROS, M. L. Processamento de achocolatado de cupuaçu por *spray-dryer*. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**. 2003, v.39, n.1, p. 115-123, 2003.

LIAPIS, A.I.; BRUTTINI, R. Freeze drying. In: MUJUMDAR, A.S. (ed). **Handbook of industrial drying**. 2<sup>nd</sup> ed. New York: Marcel Dekker, 1995, vol 1, chap. 10, p. 309 – 343.

LII, C. Y., CHANG, S. M., & YOUNG, Y. L. Investigation of the physical and chemical properties of banana starches. **Journal of Food Science**, v. 47, p.1493-1497, 1982.

LING, L. H.; OSMAN, E. M.; FERNANDES, J. B.; REILLY, P.J. Physical properties of starch from Cavendish banana fruit. **Starch/Staerke**, v.34, p.184 –188, 1982.

LÓPEZ-NICOLÁS, J.M.; PÉREZ-LÓPEZ, A,J.; CARBONELL-BARRACHINA, A.; GARCÍA-CARMONA, F. Kinetic study of the activation of banana juice enzymatic browning by the addition of maltosyl- $\beta$ -cyclodextrin. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. V.55, p. 9655-9662, 2007.

LOURES, A.; COELHO, D.T.; CRUZ, R.; LENZA, L.C. Obtenção, caracterização e utilização da farinha de banana (*Musa sp*) em panificação. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.10, n.1, p.72 – 86, 1990.

LUNN, J.; BUTRISS, J.L. Carbohydrates and dietary fiber. **British Nutrition Foundation Nutrition Bulletin**, v. 32, p. 21-64, 2007.

LOZANO, A.; CABRERA, I.; SALAZAR, T. Susceptibility of the starch in crude and modified flours to enzymic attack by  $\alpha$ -amylase. **Revista Colombiana de Quimica**, v.3, p.43–63, 1973. Chemical Abstracts 85: 107656.

MAIA, A. B. R.; GOLGHER, M. Parâmetros para avaliação da qualidade de reconstituição do leite em pó desidratado em secador de aspersão (“Spray-Dryer”). **Boletim SBCTA**, v. 17, n. 3, p. 235-254, 1983.

MANLAN, M.; MATHEWS, R.F.; BATES, R.P.; O’HAIR, S.K. Drum drying of tropical sweet potatoes. **Journal of Food Science**, v. 50, n.3, p.764 – 768, 1985.

MARSHALL, M.R.; KIM, J.; WEI, C. **Enzymatic Browning in Fruits, Vegetables and Seafoods**. FAO, 2000. Disponível em: [www.fao.org/ag/Ags/agsi/ENZYMFINAL/Enzymatic%20Browning.html](http://www.fao.org/ag/Ags/agsi/ENZYMFINAL/Enzymatic%20Browning.html). Acesso em 11 nov. 2009.

MASTERS, K. **Spray Drying**: An introduction to principles, operational practice and applications. London: Leonard Hills Books, 1972, 668p.

MEDINA, V.M. Metodologia para avaliação de sólidos solúveis totais e acidez total titulável de banana. **Banana em foco**, nº 51, junho/2004. Disponível em: [www.cnpmf.embrapa.br/publicacoes/produto\\_em\\_foco](http://www.cnpmf.embrapa.br/publicacoes/produto_em_foco). Acesso em 08 abr. 2009.

MEDINA, V.M.; PEREIRA, M.E.C. Pós-colheita. In: BORGES, A.L.; SOUZA, L.S. **O cultivo da bananeira**. Cruz das Almas: EMBRAPA, 2004, cap.12, p.219.

MEILGAARD, M.; CIVILLE, G.V.; CARR, B.T. **Sensory evaluation techniques**. 4<sup>th</sup> edition, Boca Raton : CRC Press, 2006, 448p.

MELO, A. A. M; VILAS BOAS, E. V. B. Inibição do Escurecimento Enzimático de Banana Maçã Minimamente Processada. **Ciência de Tecnologia de Alimentos**, v. 26, n.1, p. 110-115, 2006.

MENEZES, H.C.; DRAETTA, I.S. Bioquímica das frutas e hortaliças. In: **Alguns aspectos tecnológicos das frutas tropicais e seus produtos**. São Paulo: ITAL, 1980.

MINHOTO, M. J. **Breve histórico sobre botânica**. Disponível em: [www.botanicasp.org.br/educacao/historico.htm](http://www.botanicasp.org.br/educacao/historico.htm). Acesso em: 06 jun. 2006.

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

MORAIS, M.B.; FESTE, A.; MILLER, R.G.; LIFICHITZ, C.H. Effect of resistant starch and digestible starch on intestinal absorption of calcium, iron and zinc in infant pigs. **Paediatric Research**, v. 39, n. 5, p. 872-876, 1996.

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

MUJUMDAR, A.S.; MENON, A.S. Drying of solids: principles, classification and selection of dryers. In: MUJUMDAR, A.S. (ed). **Handbook of industrial drying**. 2<sup>nd</sup> ed. New York: Marcel Dekker, 1995, vol 1, chap. 1, p. 13 – 39.

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.

NEWPORT SCIENTIFIC. **Instruction Manual for the Series 4 Rapid Visco Analyzer**. Newport Scientific Pty. Ltd., Australia, 1998.

NIRO ATOMIZER. **Operation instruction for N. A. spray drying plant**. Copenhagen: Niro Atomizer, 34p.

NUGENT, A.P. Health properties of resistant starch. **British Nutrition Foundation Nutrition Bulletin**, v.30, p. 27-54, 2005.

NUNEZ-SANTIAGO, M.C.; BELLO-PÉREZ, L.A.; TECANTE, A. Swelling-solubility characteristics, granule size distribution and rheological behavior of banana (*Musa paradisiaca*) starch. **Carbohydrate Polymers**, v. 56, p. 65 – 75, 2004.

ORTIZ, R. Musa genetics. In: GOWEN, S. **Bananas and plantains**. London: Chapman & Hall, p. 84 – 109, 1995.

OSTMAN, E.M.; NILSSON, M.; ELMSTAHL, H.; MOLIN, G.; BJORCK, I. On the effect of lactic acid on blood glucose and insulin responses to cereal products: mechanistic studies in healthy subjects and in vitro. **Journal of Cereal Science**, v. 36, p. 339 – 346, 2002.

OZTURK, S.; KOKSEL, H.; NG, P.K.W. Characterization of resistant starch samples prepared from two high-amylose maize starches through debranching and heat treatments. **Cereal Chemistry**, v.86, n.5, p. 503 – 510, 2009.

OVANDO-MARTINEZ, M.; SÁYAGO-AYERDI, S.; AGAMA-ACEVEDO, E.; GOÑI, I.; BELLO-PÉREZ, L.A. Unripe banana flour as an ingredient to increase the undigestible carbohydrates of pasta. **Food Chemistry**, v. 113, n.1, p. 121-126, 2009.

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.

PACHECO-DELAHAYE, E.; TESTA, G. Evaluación nutricional física y sensorial de panes de trigo y plátano verde. **Interciencia**, v.30, p. 300 – 304, 2005.

PASCHOAL, V. **Propriedades funcionais da banana verde**. Disponível em: [www.vponline.com.br/blog/?p=44](http://www.vponline.com.br/blog/?p=44); Acesso em: 11 fev. 2010.

PBMH & PIF - PROGRAMA BRASILEIRO PARA A MODERNIZAÇÃO DA HORTICULTURA & PRODUÇÃO INTEGRADA DE FRUTAS. **Normas de Classificação de Banana**. São Paulo: CEAGESP, 2006. (Documentos, 29).

PEÑA, L. M. R., **Estudo da instantaneização de misturas contendo cacau em pó por aglomeração com jato de vapor**, Campinas, 2003, 259p. (Tese de doutorado) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.

PEREGRINO, P. Aluno descobre uso comercial para a biomassa de banana. Disponível em: <http://www.facadiferente.sebrae.com.br/2009/04/16/aluno-descobre-uso-comercial-para-a-biomassa-da-banana/>. Acesso em: 11 fev. 2010.

PEREZ-SIRA, E.E. Characterization of starch isolated from plantain (*Musa paradisiaca normalis*). **Starch/Starke**, v. 49, p. 45 – 49, 1997.

PERONI, F.H.G.; SOARES, C.A.; LOURO, R.P.; LAJOLO, F.M.; CORDENUNSI, B. R. Banana starch granule degradation: viewed by SEM. In: XXI Congresso da Sociedade Brasileira de Microscopia e Microanálise, 2007, Búzios. **Anais do XXI Congresso da Sociedade Brasileira de Microscopia e Microanálise**, 2007.

POTTER, N.N.; HOTCHKISS, J.H.; **Ciencia de los alimentos**, Zaragoza: Editorial Acribia. 1995, 667p.

RICHARD-FORGET, F.C.; GOUPY, P.M.; NICOLAS, J.J. Cysteine as an inhibitor of enzymatic browning. 2. Kinetic Studies. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 40, n. 11, p. 2.108-2.113, 1992.

RODRÍGUEZ-AMBRIZ, S.L.; ISLAS-HERNÁNDEZ, J.J.; AGAMA-ACEVEDO, E.; TOVAR, J.; BELLO-PÉREZ, L.A. Characterization of a fibre-rich powder prepared by liquefaction of unripe banana flour. **Food Chemistry**, v.107, n.4, p. 1515 – 1521, 2008.

ROSA, E.D.; TSUKADA, M.; FREITAS, L.A.P. **Secagem por atomização na indústria alimentícia**. Disponível em: <http://www.fcf.usp.br/Ensino/Graduacao/Disciplinas/Exclusivo/Inserir/Anexos/LinkAnexos/secagem%20de%20materiais.pdf>. Acesso em: 13 jan. 2010.

SAJILATA, M.G.; SINGHAL, R.S.; KULKARNI, P.R. Starch – a review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v.5, p.1-17, 2006.

SAPERS, G.M.; MILLER, R.L. Browning inhibition in fresh-cut pears. **Journal of Food Science**, v. 63, n. 2, p. 342-346, 1998.

SAS INSTITUTE INC. **SAS User's Guide**. Cary: SAS Institute Inc, 1028p.,1993.

SILVA, E.M.F. **Estudos sobre o mercado de frutas**. São Paulo: FIPE, 1999. Disponível em <http://www.agricultura.gov.br>. Acesso em 02 dez. 2009.

SIMMONDS, N.W, SHEPHERD, K. The taxonomy and origins of the cultivated bananas. **Botanical Journal of the Linnean Society**, v.55, p. 302-312, 1955. Abstract disponível em: [www3.interscience.wiley.com/journal/119777761/abstract?CRETRY=1&SRETRY=0](http://www3.interscience.wiley.com/journal/119777761/abstract?CRETRY=1&SRETRY=0).

SLUIMER, P. Principles in brief. In: SLUIMER, P. **Principles of breadmaking**. St. Paul: American Association of Cereal Chemists, 2005, chap.1, p. 1 – 15.

SOKHANSANJ, S.; JAYAS, D.S.; Drying of foodstuffs. In: MUJUMDAR, A.S. (ed). **Handbook of industrial drying**. 2<sup>nd</sup> ed. New York: Marcel Dekker, 1995, vol 1, chap. 19, p. 589 – 625.

STATSOFT INC. **Statistica: A comprehensive system for statistics, graphics and application development**. Version 5.5. Tulsa: Statsoft Inc, 2000.

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

TAPCELL, L.C. Diet and metabolic syndrome: where does resistant starch fit in? **Journal of AOAC International**, v.87, n.3, p.756-760, 2004.

TEIXEIRA, M.A.V.; CIACCO, C.F.; TAVARES, D.Q.; BONEZZI, A.N. Occurrence and characterization of resistant starch from corn and banana starch. **Ciencia e Tecnologia de Alimentos**, v.18, p. 246–253, 1998.

THOMAS, D.J.; ATWELL, W.A. Starch analysis methods. In: **Starches**. St. Paul: American Association of Cereal Chemists, 1999, p. 13 – 24.

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

TRAVAGLINI, D. A.; GASPARINO FILHO, J.; AGUIRRE, J.M. Equipamentos de secagem. In: AGUIRRE, J.M.; GASPARINO FILHO, J. **Desidratação de frutas e hortaliças**: Manual técnico. Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos, 1997, cap.2, p. 2.1 – 2.29.

TRIBESS, T.B.; TADINI, C.C.; MENEZES, E.W.; LAJOLO, F.M. Estudo do efeito do pré-tratamento químico na coloração da farinha de banana verde. In: XX Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos. 2006. Curitiba. **Anais**. CD-ROM. Produzido por Editora Tecart.

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**, v. 42, p. 1022 – 1025, 2009.

TROLLER, J.A. Influence of water activity on microorganisms in foods. **Food Technology**, v.34, n.5, p.76 – 82, 1980.

TUKOMANE, T.; LEERAPONGNUN, P.; SHOBSNGOB, S.; VARAVINIT, S. Preparation and Characterization of Annealed-Enzymatically Hydrolyzed Tapioca Starch and the Utilization in Tableting. **Starch/Stärke**, v. 59, p. 33–45, 2007.

VALLE, H. F.; CAMARGOS, M. **Yes, Nós Temos Bananas**: Histórias e Receitas com Biomassa de Banana Verde. São Paulo: SENAC, 2003.

VAN DOKKUM, W. Propriedades funcionais de fibras alimentares, amido resistente e oligossacarídeos não digeríveis. In: COSTA, N.M.B.; ROSA, C.O.B. (Ed), **Alimentos funcionais**: Benefícios para a saúde. Viçosa, 2008.

VILAS BOAS, E.V.B.; ALVES, R.E.; FILGUEIRAS, H.A.C.; MENEZES, J.B. Características da fruta. In: MATSUURA, F.C.A.U.; FOLEGATTI, M.I.S. (Ed.) **Banana**: Pós-colheita. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2001, Cap.2, p. 15-19.

VON LOESECKE, H. W. **Bananas**. 2<sup>nd</sup> ed. New York: Interscience Publishers 1950, p. 52-66.

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

WHITAKER, J.R.; LEE, C.Y. Recent advances in chemistry of enzymatic browning. In: LEE, C.Y.; WHITAKER, J.R. **Enzymatic Browning and Its Prevention**, Washington: American Chemical Society: ACS Symposium Series 600, 1995 p. 2-7.

YUE, P.; WARING, S. Resistant starch in food applications. **Cereal Foods World**, v.43, n.9, p.690-695, 1998.

ZENEBON, O; PASCUET, N.S. (Coord.). **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4<sup>a</sup> ed. Brasília: Ministério da Saúde/Agência Nacional de Vigilância Sanitária, 2005, cap. IV, p. 119 – 121.

ZHANG, P.; WHISTLER, R.L.; BEMILLER, J.N.; HAMAKER, B.R. Banana starch: production, physicochemical properties and digestibility - a review. **Carbohydrate Polymers**, n. 59, p. 443 – 458, 2005.

ZOBEL, H.F. X-ray analysis of granular starches. In: Whistler, R.L.; Smith, R.J. BeMiller, J.N.; Wolform, M.L.(eds.). **Methods in Carbohydrate Chemistry**, New York: Academic Press, 1964, p.109-113.

**APÊNDICE 1 - Termo de consentimento livre e esclarecido****Projeto de Pesquisa: Farinha de Banana Verde – Desenvolvimento, caracterização e aplicação em produtos alimentícios**

Este trabalho tem como objetivo desenvolver um pão de forma (barra de cereais) com maior teor de fibra que o produto convencional. Para isso, foi adicionada farinha de banana verde, rica em amido resistente, que apresenta os benefícios da fibra para o organismo humano.

O projeto proposto realizará análises sensoriais para a definição do nível de adição de farinha de banana verde em pão de forma (barra de cereais), pelo teste de aceitação e intenção de compra com consumidores desse tipo de produto. Os provadores analisarão os produtos quanto aos atributos: produto de modo global, aparência, aroma, sabor, maciez e sabor que fica na boca (pães) ou produto de modo global, aparência, aroma, sabor e textura (barras de cereais). O teste levará cerca de 15 minutos.

Os pães de forma (barras de cereais) com adição de farinha de banana verde não oferecem riscos previsíveis de danos à saúde e integridade dos sujeitos envolvidos na pesquisa, pois, tanto a farinha de banana verde como os pães de forma (barras de cereais) foram produzidos e manipulados de acordo com as boas práticas de fabricação (BPF).

A pesquisadora garante fornecer respostas a quaisquer perguntas ou esclarecimentos que julgue necessário sobre os procedimentos, riscos, benefícios e outros relacionados com a pesquisa realizada. Está consciente, também que a participação do sujeito da pesquisa é voluntária, podendo se retirar a qualquer momento da análise sem qualquer consequência para o mesmo. Não haverá nenhum tipo de ressarcimento financeiro ou ajuda de custo aos provadores durante a participação na pesquisa. Haverá apenas gratificações em forma de brindes (confeitos ou bombons) no final do teste.

Os resultados obtidos neste trabalho serão tornados públicos em publicações científicas e congressos, sejam eles favoráveis ou não, porém, sem identificação dos participantes.

Caso concorde em participar desta pesquisa, por favor, preencha os dados abaixo, assine e devolva-a à pessoa que estiver presente na coleta. Você receberá uma cópia deste Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.

Grata pela sua colaboração,

**Responsável pela pesquisa: Rita de Cássia S. Celeste Ormenese**

Assinatura: \_\_\_\_\_

Membros da Equipe:

Rita de Cássia S. C. Ormenese - [ritaorm@ital.sp.gov.br](mailto:ritaorm@ital.sp.gov.br), fone: (19) 3743.1805

Alfredo de Almeida Vitali – [avitali@ital.sp.gov.br](mailto:avitali@ital.sp.gov.br), fone: (19) 3743.1828

Fernanda Paula Collares Queiroz – [collares.queiroz@gmail.com](mailto:collares.queiroz@gmail.com), fone: (19) 3521-3997

Comitê de Ética – Fone: (19) 3343.6777

**Aceito participar da pesquisa de acordo com as condições estabelecidas pela mesma.**

Nome: \_\_\_\_\_ RG: \_\_\_\_\_ Telefone: \_\_\_\_\_

Local: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_\_\_

Assinatura: \_\_\_\_\_

## APÊNDICE 2. AVALIAÇÃO SENSORIAL DE PÃO DE FORMA

Nome: \_\_\_\_\_ Amostra: \_\_\_\_\_

Muito obrigado por participar de nosso teste. Sua colaboração é muito importante para nós!  
 Você está recebendo 3 amostras codificadas de PÃO DE FORMA. Por favor, avalie as amostras e responda as questões que se seguem:

### 1. Indique o quanto você gostou:

#### Do PRODUTO DE MODO GLOBAL:

Gostei muitíssimo	Gostei muito	Gostei	Gostei pouco	Não gostei nem desgostei	Desgostei pouco	Desgostei	Desgostei muito	Desgostei muitíssimo
( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )

#### Da APARÊNCIA do produto:

Gostei muitíssimo	Gostei muito	Gostei	Gostei pouco	Não gostei nem desgostei	Desgostei pouco	Desgostei	Desgostei muito	Desgostei muitíssimo
( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )

#### Do AROMA do produto:

Gostei muitíssimo	Gostei muito	Gostei	Gostei pouco	Não gostei nem desgostei	Desgostei pouco	Desgostei	Desgostei muito	Desgostei muitíssimo
( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )

#### Do SABOR do produto:

Gostei muitíssimo	Gostei muito	Gostei	Gostei pouco	Não gostei nem desgostei	Desgostei pouco	Desgostei	Desgostei muito	Desgostei muitíssimo
( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )

#### Da MACIEZ do produto:

Gostei muitíssimo	Gostei muito	Gostei	Gostei pouco	Não gostei nem desgostei	Desgostei pouco	Desgostei	Desgostei muito	Desgostei muitíssimo
( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )

#### Do SABOR QUE FICA NA BOCA:

Gostei muitíssimo	Gostei muito	Gostei	Gostei pouco	Não gostei nem desgostei	Desgostei pouco	Desgostei	Desgostei muito	Desgostei muitíssimo
( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )

### 2. Descreva o que, em particular, você gostou ou desgostou nesta amostra (use palavras ou frases).

Mais gostei:

\_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

Menos gostei:

\_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

### 3. Com base em sua opinião sobre esta amostra de PÃO DE FORMA, indique na escala abaixo, sua atitude se você encontrasse esta amostra à venda.

Certamente compraria	Provavelmente compraria	Talvez comprasse / talvez não comprasse	Provavelmente não compraria	Certamente não compraria
( )	( )	( )	( )	( )

### APÊNDICE 3. AVALIAÇÃO SENSORIAL DE BARRA DE CEREAIS

Nome: \_\_\_\_\_ Amostra: \_\_\_\_\_

Muito obrigado por participar de nosso teste. Sua colaboração é muito importante para nós!

Você está recebendo 3 amostras codificadas de BARRA DE CEREAIS. Por favor, avalie a amostra e responda as questões que se seguem:

1. Indique o quanto você gostou:

Do PRODUTO DE MODO GLOBAL:

Gostei muitíssimo	Gostei muito	Gostei	Gostei pouco	Não gostei nem desgostei	Desgostei pouco	Desgostei	Desgostei muito	Desgostei muitíssimo
( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )

Da APARÊNCIA do produto:

Gostei muitíssimo	Gostei muito	Gostei	Gostei pouco	Não gostei nem desgostei	Desgostei pouco	Desgostei	Desgostei muito	Desgostei muitíssimo
( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )

Do AROMA do produto:

Gostei muitíssimo	Gostei muito	Gostei	Gostei pouco	Não gostei nem desgostei	Desgostei pouco	Desgostei	Desgostei muito	Desgostei muitíssimo
( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )

Do SABOR do produto:

Gostei muitíssimo	Gostei muito	Gostei	Gostei pouco	Não gostei nem desgostei	Desgostei pouco	Desgostei	Desgostei muito	Desgostei muitíssimo
( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )

Da TEXTURA do produto:

Gostei muitíssimo	Gostei muito	Gostei	Gostei pouco	Não gostei nem desgostei	Desgostei pouco	Desgostei	Desgostei muito	Desgostei muitíssimo
( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )

2. Descreva o que, em particular, você gostou ou desgostou nesta amostra (use palavras ou frases).

Mais gostei:

Menos gostei:

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

3. Com base em sua opinião sobre esta amostra de BARRA DE CEREAIS, indique na escala abaixo, sua atitude se você encontrasse esta amostra à venda.

Certamente compraria	Provavelmente compraria	Talvez comprasse / talvez não comprasse	Provavelmente não compraria	Certamente não compraria
( )	( )	( )	( )	( )

**APÊNDICE 4 - Análise estatística dos dados do planejamento experimental para determinação das concentrações de agentes antioxidantes utilizados para a inativação enzimática**

**Tabela A4.1.** Efeitos estimados para a resposta  $L_0^* - L_1^*$ .

Fator	Efeito	Erro puro	Significância estatística
Média	5,7449 *	0,4534 *	0,0062 *
x1 (L)	0,5412	0,4261	0,3318
x1 (Q)	-1,7595 *	0,4694 *	0,0644 *
x2 (L)	-2,7350 *	0,4261 *	0,0234 *
x2 (Q)	-2,7941 *	0,4694 *	0,0271 *
x3 (L)	-5,0863 *	0,4261 *	0,0069 *
x3 (Q)	0,0723	0,4694	0,8917
x1 x2	-2,9600 *	0,5564 *	0,0336 *
x1 x3	-1,2850	0,5564	0,1472
x2 x3	3,4400 *	0,5564 *	0,0252 *

\*Efeitos significativos ao nível de 90% de confiança ( $p \leq 0,10$ ).

x1= AA (mg/L); x2=AC (g/L); x3=MBS (mg/L).

**Tabela A4.2.** ANOVA para  $L_0^* - L_1^*$ .

Fonte de variação	Soma dos Quadrados	Graus de liberdade	Quadrados médios	F calculado
Regressão	183,56	6	30,59	19,08
Resíduos	16,04	10	1,60	
Total	199,60	16		

Porcentagem de variação explicada ( $R^2$ ) = 91,97%.  $F_{(6;10;0,10)} = 2,46$ .

**Tabela A4.3.** Efeitos estimados para a resposta  $a_0^* - a_1^*$ .

Fator	Efeito	Erro puro	Significância estatística
Média	-0,5460	0,2455	0,1562
x1 (L)	0,0540	0,2308	0,8367
x1 (Q)	0,1145	0,2542	0,6966
x2 (L)	0,7924 *	0,2308 *	0,0753 *
x2 (Q)	0,2739	0,2542	0,3940
x3 (L)	0,6023	0,2308	0,1208
x3 (Q)	-0,1229	0,2542	0,6765
x1 x2	0,2875	0,3014	0,4408
x1 x3	-0,1775	0,3014	0,6155
x2 x3	-0,7375	0,3014	0,1342

\* Efeito significativo ao nível de 90% de confiança ( $p \leq 0,10$ ).

x1= AA (mg/L); x2=AC (g/L); x3=MBS (mg/L).

**Tabela A4.4.** ANOVA para  $a_0^* - a_1^*$ .

Fonte de variação	Soma dos Quadrados	Graus de liberdade	Quadrados médios	F calculado
Regressão	2,14	1	2,14	6,85
Resíduos	4,71	15	0,31	
Total	6,85	16		

Porcentagem de variação explicada ( $R^2$ ) = 31,27%.  $F_{(1;15;0,10)} = 3,07$ .

**Tabela A4.5.** Efeitos estimados para a resposta  $b_0^* - b_1^*$ .

Fator	Efeito	Erro puro	Significância estatística
Média	-0,4114 *	0,0774 *	0,0336 *
x1 (L)	-0,2055	0,0727	0,1057
x1 (Q)	1,7879 *	0,0801 *	0,0020 *
x2 (L)	0,4679 *	0,0727 *	0,0233 *
x2 (Q)	2,2627 *	0,0801 *	0,0013 *
x3 (L)	0,1771	0,0727	0,1352
x3 (Q)	0,6506 *	0,0801 *	0,0148 *
x1 x2	1,8575 *	0,0950 *	0,0026 *
x1 x3	-0,7475 *	0,0950 *	0,0158 *
x2 x3	-2,0425 *	0,0950 *	0,0022 *

\* Efeitos significativos ao nível de 90% de confiança ( $p \leq 0,10$ ).

x1= AA (mg/L); x2=AC (g/L); x3=MBS (mg/L).

**Tabela A4.6.** ANOVA para  $b_0^* - b_1^*$ .

Fonte de variação	Soma dos Quadrados	Graus de liberdade	Quadrados médios	F calculado
Regressão	35,61	7	5,09	1,73
Resíduos	26,50	9	2,94	
Total	62,10	16		

Porcentagem de variação explicada ( $R^2$ ) = 57,34%.  $F_{(7;9;0,10)} = 2,51$ .

**Tabela A4.7.** Efeitos estimados para a resposta  $L_0^* - L_3^*$ .

Fator	Efeito	Erro puro	Significância estatística
Média	6,5764 *	0,9062 *	0,0185 *
x1 (L)	0,2178	0,8517	0,8221
x1 (Q)	-2,0264	0,9383	0,1634
x2 (L)	-4,5485 *	0,8517 *	0,0333 *
x2 (Q)	-1,5339	0,9383	0,2437
x3 (L)	-6,3940 *	0,8517 *	0,0173 *
x3 (Q)	-0,6800	0,9383	0,5439
x1 x2	-0,6850	1,1123	0,6007
x1 x3	-0,1900	1,1123	0,8801
x2 x3	3,0200	1,1123	0,1131

\* Efeitos significativos ao nível de 90% de confiança ( $p \leq 0,10$ ).

x1= AA (mg/L); x2=AC (g/L); x3=MBS (mg/L).

**Tabela A4.8.** ANOVA para  $L_0^* - L_3^*$ .

Fonte de variação	Soma dos Quadrados	Graus de liberdade	Quadrados médios	F calculado
Regressão	210,04	2	105,02	16,83
Resíduos	87,47	14	6,25	
Total	297,50	16		

Porcentagem de variação explicada ( $R^2$ ) = 70,60%.  $F_{(2;14;0,10)} = 2,73$ .

**Tabela A4.9.** Efeitos estimados para a resposta  $a_0^* - a_3^*$ .

Fator	Efeito	Erro puro	Significância estatística
Média	-1,4211 *	0,0642 *	0,0020 *
x1 (L)	0,0797	0,0604	0,3175
x1 (Q)	0,6717 *	0,0665 *	0,0097 *
x2 (L)	0,9629 *	0,0604 *	0,0039 *
x2 (Q)	0,4662 *	0,0665 *	0,0198 *
x3 (L)	1,2743 *	0,0604 *	0,0022 *
x3 (Q)	-0,6003 *	0,0665 *	0,0121 *
x1 x2	0,1000	0,0788	0,3323
x1 x3	-0,3900 *	0,0788 *	0,0385 *
x2 x3	-0,8800	0,0788	0,0079

\* Efeitos significativos ao nível de 90% de confiança ( $p \leq 0,10$ ).

x1= AA (mg/L); x2=AC (g/L); x3=MBS (mg/L).

**Tabela A4.10.** ANOVA para  $a_0^* - a_3^*$ .

Fonte de variação	Soma dos Quadrados	Graus de liberdade	Quadrados médios	F calculado
Regressão	14,44	7	2,06	5,49
Resíduos	3,38	9	0,38	
Total	17,82	16		

Porcentagem de variação explicada ( $R^2$ ) = 81,02%.  $F_{(7;9;0,10)} = 2,51$ .

**Tabela A4.11.** Efeitos estimados para a resposta  $b_0^* - b_3^*$ .

Fator	Efeito	Erro puro	Significância estatística
Média	-1,0069	0,4124	0,1347
x1 (L)	-1,6096 *	0,3876 *	0,0534 *
x1 (Q)	0,8488	0,4270	0,1852
x2 (L)	-0,7881	0,3876	0,1790
x2 (Q)	3,0880 *	0,4270 *	0,0186 *
x3 (L)	0,5246	0,3876	0,3086
x3 (Q)	-0,2992	0,4270	0,5560
x1 x2	1,8225 *	0,5062 *	0,0692 *
x1 x3	-0,5175	0,5062	0,4141
x2 x3	-3,5075 *	0,5062 *	0,0202 *

\* Efeitos significativos ao nível de 90% de confiança ( $p \leq 0,10$ ).

x1= AA (mg/L); x2=AC (g/L); x3=MBS (mg/L).

**Tabela A4.12.** ANOVA para  $b_0^* - b_3^*$ .

<b>Fonte de variação</b>	<b>Soma dos Quadrados</b>	<b>Graus de liberdade</b>	<b>Quadrados médios</b>	<b>F calculado</b>
Regressão	68,58	4	17,14	4,69
Resíduos	43,87	12	3,66	
Total	112,45	16		

Porcentagem de variação explicada ( $R^2$ ) = 60,99%.  $F_{(4;12;0,10)} = 2,48$ .

**APÊNDICE 5 - Análise estatística do planejamento experimental para determinação do efeito da secagem em tambor rotativo nas características das farinhas obtidas**

**Tabela A5.1.** Efeitos estimados para a resposta *rendimento em farinha*.

Fator	Efeito	Erro puro	Significância estatística
Média	23,7352 *	0,7130 *	< 0,0001 *
x1 (L)	-4,6021 *	0,8643 *	0,0060 *
x1 (Q)	1,5737	0,8654	0,1431
x2 (L)	-0,8807	0,8643	0,3658
x2 (Q)	0,7333	0,8654	0,4445
x3 (L)	3,3763 *	0,8643 *	0,0174 *
x3 (Q)	-0,0805	0,8654	0,9304
x1 x2	2,9805 *	1,1287 *	0,0575 *
x1 x3	-4,0011 *	1,1287 *	0,0239 *
x2 x3	-2,0507	1,1287	0,1434

\*Efeitos significativos ao nível de 90% de confiança ( $p \leq 0,10$ ).

x1= RPM<sup>-1</sup> (min); x2=P vapor (kPa); x3=Distância cilindros (mm).

**Tabela A5.2.** ANOVA para *rendimento em farinha*.

Fonte de variação	Soma dos Quadrados	Graus de liberdade	Quadrados médios	F calculado
Regressão	160,89	4	40,22	8,62
Resíduos	65,37	14	4,67	
Total	226,26	18		

Porcentagem de variação explicada ( $R^2$ ) = 71,12%.  $F_{(4;14;0,10)} = 2,39$ .

**Tabela A5.3.** Efeitos estimados para a resposta *umidade*.

Fator	Efeito	Erro puro	Significância estatística
Média	5,8276 *	0,3653 *	0,0001 *
x1 (L)	-6,3904 *	0,4428 *	0,0001 *
x1 (Q)	2,0528 *	0,4434 *	0,0098 *
x2 (L)	-1,9598 *	0,4428 *	0,0115 *
x2 (Q)	-0,4200	0,4434	0,3971
x3 (L)	2,5936 *	0,4428 *	0,0042 *
x3 (Q)	0,1949	0,4434	0,6829
x1 x2	2,1835 *	0,5782 *	0,0195 *
x1 x3	-2,9734 *	0,5782 *	0,0068 *
x2 x3	-0,3481	0,5782	0,5796

\* Efeitos significativos ao nível de 90% de confiança ( $p \leq 0,10$ ).

x1= RPM<sup>-1</sup> (min); x2=P vapor (kPa); x3=Distância cilindros (mm).

**Tabela A5.4.** ANOVA para *umidade*.

Fonte de variação	Soma dos Quadrados	Graus de liberdade	Quadrados médios	F calculado
Regressão	217,87	6	36,31	43,75
Resíduos	9,92	12	0,83	
Total	227,79	18		

Porcentagem de variação explicada ( $R^2$ ) = 95,65%.  $F_{(6;12;0,10)} = 2,33$ .

**Tabela A5.5.** Efeitos estimados para a resposta *Aw*.

Fator	Efeito	Erro puro	Significância estatística
Média	0,3251 *	0,0320 *	0,0005 *
x1 (L)	-0,3067 *	0,0388 *	0,0014 *
x1 (Q)	0,0613	0,0388	0,1898
x2 (L)	-0,1363 *	0,0388 *	0,0246 *
x2 (Q)	-0,0468	0,0388	0,2950
x3 (L)	0,1542 *	0,0388 *	0,0165 *
x3 (Q)	-0,0160	0,0388	0,7024
x1 x2	0,0892	0,0507	0,1532
x1 x3	-0,1188 *	0,0507 *	0,0789 *
x2 x3	-0,0842	0,0507	0,1720

\* Efeitos significativos ao nível de 90% de confiança ( $p \leq 0,10$ ).

x1= RPM<sup>-1</sup> (min); x2=P vapor (kPa); x3=Distância cilindros (mm).

**Tabela A5.6.** ANOVA para *Aw*.

Fonte de variação	Soma dos Quadrados	Graus de liberdade	Quadrados médios	F calculado
Regressão	0,4936	4	0,1234	15,61
Resíduos	0,1106	14	0,0079	
Total	0,6042	18		

Porcentagem de variação explicada ( $R^2$ ) = 81,69%.  $F_{(4;14;0,10)} = 2,39$ .

**Tabela A5.7.** Efeitos estimados para a resposta *L* \*.

Fator	Efeito	Erro puro	Significância estatística
Média	75,0023 *	0,3592 *	< 0,0001 *
x1 (L)	-1,9414 *	0,4355 *	0,0112 *
x1 (Q)	-1,0208 *	0,4361 *	0,0793 *
x2 (L)	1,8109 *	0,4355 *	0,0142 *
x2 (Q)	-0,1197	0,4361	0,7973
x3 (L)	-2,1839 *	0,4355 *	0,0074 *
x3 (Q)	-0,5201	0,4361	0,2989
x1 x2	-4,2258 *	0,5687 *	0,0018 *
x1 x3	4,0142 *	0,5687 *	0,0021 *
x2 x3	4,7342 *	0,5687 *	0,0011 *

\* Efeitos significativos ao nível de 90% de confiança ( $p \leq 0,10$ ).

x1= RPM<sup>-1</sup> (min); x2=P vapor (kPa); x3=Distância cilindros (mm).

**Tabela A5.8.** ANOVA para *L* \*.

Fonte de variação	Soma dos Quadrados	Graus de liberdade	Quadrados médios	F calculado
Regressão	156,20	7	22,31	3,06
Resíduos	80,32	11	7,30	
Total	236,51	18		

Porcentagem de variação explicada ( $R^2$ ) = 66,04%.  $F_{(7;11;0,10)} = 2,34$ .

**Tabela A5.9.** Efeitos estimados para a resposta *a* \*.

Fator	Efeito	Erro puro	Significância estatística
Média	5,8928 *	0,1868 *	< 0,0001 *
x1 (L)	-0,1118	0,2265	0,6473
x1 (Q)	0,5054 *	0,2268 *	0,0897 *
x2 (L)	-0,1621	0,2265	0,5136
x2 (Q)	-0,0674	0,2268	0,7812
x3 (L)	0,6634 *	0,2265 *	0,0428 *
x3 (Q)	0,0814	0,2268	0,7376
x1 x2	1,5075 *	0,2957 *	0,0070 *
x1 x3	-1,4325 *	0,2957 *	0,0084 *
x2 x3	-0,6975 *	0,2957 *	0,0778 *

\* Efeitos significativos ao nível de 90% de confiança ( $p \leq 0,10$ ).

x1= RPM<sup>-1</sup> (min); x2=P vapor (kPa); x3=Distância cilindros (mm).

**Tabela A5.10.** ANOVA para *a* \*.

Fonte de variação	Soma dos Quadrados	Graus de liberdade	Quadrados médios	F calculado
Regressão	12,02	5	2,40	6,01
Resíduos	5,20	13	0,40	
Total	17,22	18		

Porcentagem de variação explicada ( $R^2$ ) = 69,79%.  $F_{(5;13;0,10)} = 2,35$ .

**Tabela A5.11.** Efeitos estimados para a resposta *b* \*.

Fator	Efeito	Erro puro	Significância estatística
Média	25,7105 *	0,1889 *	< 0,0001 *
x1 (L)	0,9619 *	0,2290 *	0,0137 *
x1 (Q)	-1,1900 *	0,2293 *	0,0066 *
x2 (L)	-0,4632	0,2290	0,1131
x2 (Q)	0,1470	0,2293	0,5564
x3 (L)	1,0797 *	0,2290 *	0,0092 *
x3 (Q)	-0,1707	0,2293	0,4979
x1 x2	1,4750 *	0,2990 *	0,0079 *
x1 x3	0,1400	0,2990	0,6640
x2 x3	-1,4800 *	0,2990 *	0,0078 *

\* Efeitos significativos ao nível de 90% de confiança ( $p \leq 0,10$ ).

x1= RPM<sup>-1</sup> (min); x2=P vapor (kPa); x3=Distância cilindros (mm).

**Tabela A5.12.** ANOVA para  $b^*$ .

Fonte de variação	Soma dos Quadrados	Graus de liberdade	Quadrados médios	F calculado
Regressão	20,84	5	4,17	8,56
Resíduos	6,33	13	0,49	
Total	27,17	18		

Porcentagem de variação explicada ( $R^2$ ) = 76,71%.  $F_{(5;13;0,10)} = 2,35$ .

**Tabela A5.13.** Efeitos estimados para a resposta *Perda AR*.

Fator	Efeito	Erro puro	Significância estatística
Média	95,6681 *	0,1123 *	< 0,0001 *
x1 (L)	1,4566 *	0,1361 *	0,0004 *
x1 (Q)	-0,3384 *	0,1363 *	0,0680 *
x2 (L)	1,0709 *	0,1361 *	0,0014*
x2 (Q)	-0,2003	0,1363	0,2156
x3 (L)	-1,1377 *	0,1361 *	0,0011 *
x3 (Q)	-0,6590 *	0,1363 *	0,0084 *
x1 x2	-1,8797 *	0,1778 *	0,0005 *
x1 x3	1,9394 *	0,1778 *	0,0004 *
x2 x3	1,7130 *	0,1778 *	0,0006 *

\* Efeitos significativos ao nível de 90% de confiança ( $p \leq 0,10$ ).

x1= RPM<sup>-1</sup> (min); x2=P vapor (kPa); x3=Distância cilindros (mm).

**Tabela A5.14.** ANOVA para *Perda AR*.

Fonte de variação	Soma dos Quadrados	Graus de liberdade	Quadrados médios	F calculado
Regressão	37,59	8	4,70	2,18
Resíduos	21,54	10	2,15	
Total	59,13	18		

Porcentagem de variação explicada ( $R^2$ ) = 63,56%.  $F_{(8;10;0,10)} = 2,38$ .

**APÊNDICE 6 - Análise estatística do planejamento experimental para determinação do efeito da secagem por atomização nas características das farinhas obtidas**

**Tabela A6.1.** Efeitos estimados para a resposta *rendimento em farinha*.

Fator	Efeito	Erro puro	Significância estatística
Média	6,7060 *	0,6411 *	0,0019 *
x1 (L)	-1,3560	0,6954	0,1463
x1 (Q)	-0,2742	0,7233	0,7298
x2 (L)	-1,2266	0,6954	0,1759
x2 (Q)	-1,8892 *	0,7233 *	0,0795 *
x3 (L)	2,3320 *	0,6954 *	0,0439 *
x3 (Q)	2,0510 *	0,7233 *	0,0659 *
x1 x2	0,5151	0,9081	0,6102
x1 x3	-3,6968 *	0,9081 *	0,0267 *
x2 x3	-1,1266	0,9081	0,3029

\* Efeitos significativos ao nível de 90% de confiança ( $p \leq 0,10$ ).  
x1= T ar (°C); x2=P ar (kPa); x3=Rotação bomba (rpm).

**Tabela A6.2.** ANOVA para *rendimento em farinha*.

Fonte de variação	Soma dos Quadrados	Graus de liberdade	Quadrados médios	F calculado
Regressão	76,91	4	19,23	7,35
Resíduos	34,03	13	2,62	
Total	110,94	17		

Porcentagem de variação explicada ( $R^2$ ) = 69,32%.  $F_{(4;13;0,10)} = 2,43$ .

**Tabela A6.3.** Efeitos estimados para a resposta *umidade*.

Fator	Efeito	Erro puro	Significância estatística
Média	11,4077 *	0,4957 *	0,0002 *
x1 (L)	-0,3189	0,5376	0,5948
x1 (Q)	-1,1854	0,5592	0,1242
x2 (L)	0,2288	0,5376	0,6991
x2 (Q)	-0,0599	0,5592	0,9214
x3 (L)	1,8394 *	0,5376 *	0,0418 *
x3 (Q)	-0,9079	0,5592	0,2029
x1 x2	-1,1660	0,7022	0,1954
x1 x3	0,0110	0,7022	0,9885
x2 x3	-0,3407	0,7022	0,6608

\* Efeitos significativos ao nível de 90% de confiança ( $p \leq 0,10$ ).  
x1= T ar (°C); x2=P ar (kPa); x3=Rotação bomba (rpm).

**Tabela A6.4.** ANOVA para *umidade*.

Fonte de variação	Soma dos Quadrados	Graus de liberdade	Quadrados médios	F calculado
Regressão	11,54	1	11,54	8,66
Resíduos	21,33	16	1,33	
Total	32,87	17		

Porcentagem de variação explicada ( $R^2$ ) = 35,11%.  $F_{(1;16;0,10)} = 3,05$ .

**Tabela A6.5.** Efeitos estimados para a resposta *Aw*.

Fator	Efeito	Erro puro	Significância estatística
Média	0,4976 *	0,0220 *	0,0002 *
x1 (L)	-0,0131	0,0238	0,6204
x1 (Q)	-0,0478	0,0248	0,1491
x2 (L)	0,0317	0,0238	0,2759
x2 (Q)	0,0141	0,0248	0,6098
x3 (L)	0,0831 *	0,0238 *	0,0398 *
x3 (Q)	-0,0629 *	0,0248 *	0,0846 *
x1 x2	-0,0543	0,0311	0,1790
x1 x3	0,0135	0,0311	0,6936
x2 x3	-0,0317	0,0311	0,3836

\* Efeitos significativos ao nível de 90% de confiança ( $p \leq 0,10$ ).

x1= T ar (°C); x2=P ar (kPa); x3=Rotação bomba (rpm).

**Tabela A6.6.** ANOVA para *Aw*.

Fonte de variação	Soma dos Quadrados	Graus de liberdade	Quadrados médios	F calculado
Regressão	0,0347	2	0,0173	5,04
Resíduos	0,0516	15	0,0034	
Total	0,0862	17		

Porcentagem de variação explicada ( $R^2$ ) = 40,18%.  $F_{(2;15;0,10)} = 2,70$ .

**Tabela A6.7.** Efeitos estimados para a resposta *L\**.

Fator	Efeito	Erro puro	Significância estatística
Média	77,4589 *	0,3912 *	< 0,0001 *
x1 (L)	-1,4989 *	0,4243 *	0,0386 *
x1 (Q)	-0,3373	0,4413	0,5003
x2 (L)	0,9334	0,4243	0,1152
x2 (Q)	0,2733	0,4413	0,5796
x3 (L)	-0,3235	0,4243	0,5012
x3 (Q)	0,1256	0,4413	0,7944
x1 x2	0,1167	0,5541	0,8467
x1 x3	-0,3300	0,5541	0,5934
x2 x3	1,4300 *	0,5541 *	0,0817 *

\* Efeitos significativos ao nível de 90% de confiança ( $p \leq 0,10$ ).

x1= T ar (°C); x2=P ar (kPa); x3=Rotação bomba (rpm).

**Tabela A6.8.** ANOVA para  $L^*$ .

Fonte de variação	Soma dos Quadrados	Graus de liberdade	Quadrados médios	F calculado
Regressão	11,76	2	5,88	3,86
Resíduos	22,83	15	1,52	
Total	34,59	17		

Porcentagem de variação explicada ( $R^2$ ) = 33,980%.  $F_{(2;15;0,10)} = 2,70$ .

**Tabela A6.9.** Efeitos estimados para a resposta  $a^*$ .

Fator	Efeito	Erro puro	Significância estatística
Média	4,6248 *	0,1999 *	0,0002 *
x1 (L)	0,7900 *	0,2168 *	0,0357 *
x1 (Q)	0,2932	0,2255	0,2845
x2 (L)	-0,5245 *	0,2168 *	0,0943 *
x2 (Q)	0,1385	0,2255	0,5826
x3 (L)	0,7412 *	0,2168 *	0,0419 *
x3 (Q)	-0,0115	0,2255	0,9625
x1 x2	-0,7917 *	0,2832 *	0,0681 *
x1 x3	0,3367	0,2832	0,3200
x2 x3	-0,2783	0,2832	0,3981

\* Efeitos significativos ao nível de 90% de confiança ( $p \leq 0,10$ ).

x1= T ar ( $^{\circ}$ C); x2=P ar (kPa); x3=Rotação bomba (rpm).

**Tabela A6.10.** ANOVA para  $a^*$ .

Fonte de variação	Soma dos Quadrados	Graus de liberdade	Quadrados médios	F calculado
Regressão	6,20	4	1,55	2,76
Resíduos	7,29	13	0,56	
Total	13,49	17		

Porcentagem de variação explicada ( $R^2$ ) = 45,93%.  $F_{(4;13;0,10)} = 2,43$ .

**Tabela A6.11.** Efeitos estimados para a resposta  $b^*$ .

Fator	Efeito	Erro puro	Significância estatística
Média	15,5883 *	0,6259 *	0,0001 *
x1 (L)	0,4192	0,6789	0,5806
x1 (Q)	0,5304	0,7061	0,5071
x2 (L)	-0,2538	0,6789	0,7334
x2 (Q)	0,1702	0,7061	0,8250
x3 (L)	1,2602	0,6789	0,1604
x3 (Q)	-0,5384	0,7061	0,5012
x1 x2	-0,5233	0,8866	0,5965
x1 x3	0,4433	0,8866	0,6514
x2 x3	0,2983	0,8866	0,7587

\* Efeitos significativos ao nível de 90% de confiança ( $p \leq 0,10$ ).

x1= T ar ( $^{\circ}$ C); x2=P ar (v); x3=Rotação bomba (rpm).

**Tabela A6.12.** Efeitos estimados para a resposta *Perda AR*.

Fator	Efeito	Erro puro	Significância estatística
Média	24,1018 *	2,1515 *	0,0015 *
x1 (L)	6,8850 *	2,3335 *	0,0600 *
x1 (Q)	-1,6651	2,4272	0,5420
x2 (L)	7,4281 *	2,3335 *	0,0500 *
x2 (Q)	7,9112 *	2,4272 *	0,0472 *
x3 (L)	-9,6197 *	2,3335 *	0,0259 *
x3 (Q)	3,1487	2,4272	0,2853
x1 x2	2,7477	3,0475	0,4337
x1 x3	-0,5996	3,0475	0,8566
x2 x3	-6,1984	3,0475	0,1348

\* Efeitos significativos ao nível de 90% de confiança ( $p \leq 0,10$ ).  
x1= T ar (°C); x2=P ar (kPa); x3=Rotação bomba (rpm).

**Tabela A6.13.** ANOVA para *Perda AR*.

Fonte de variação	Soma dos Quadrados	Graus de liberdade	Quadrados médios	F calculado
Regressão	864,68	4	216,17	9,08
Resíduos	309,63	13	23,82	
Total	1174,31	17		

Porcentagem de variação explicada ( $R^2$ ) = 73,63%.  $F_{(4;13;0,10)} = 2,43$ .

## ANEXO – Parecer do Comitê de Ética em Pesquisa sobre o projeto



PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE CAMPINAS  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA

Campinas, 05 de dezembro de 2007

Protocolo 848/07

Prezada Senhora Rita de Cássia S Celeste Ormenese,

### Parecer Projeto: PROJETO APROVADO

#### I – Identificação:

**Título do projeto:** Farinha de Banana Verde – desenvolvimento, caracterização e aplicação em produtos alimentícios

**Pesquisadora responsável:** Rita de Cássia S Celeste Ormenese

**Orientadora:** Fernanda Paula Collares Queiroz

**Instituição onde se realizará:** Instituto de Tecnologia de Alimentos - ITAL

**Data de apresentação das reformulações solicitadas pelo CEP:** 05.12.2007

#### II – Objetivo:

Definir o melhor processo de obtenção de farinha de banana verde, permitindo sua aplicação em diferentes produtos alimentícios, como pão de forma e barra de cereais. Pretende-se, com isso, possibilitar o uso de uma matéria-prima nutricionalmente muito rica e com funcionalidade fisiológica, que hoje apresenta pouco uso industrial.

#### III – Sumário:

O projeto visa utilizar as bananas dos cultivares Nanicao Jangada, no estágio totalmente verde – grau 1 da Escala de Maturação, sendo as amostras das bananas obtidas junto ao Pólo Regional de Desenvolvimento Sustentável da Secretaria de Agricultura do Estado de São Paulo localizado no Vale do Ribeira. A variedade que apresentar a melhor composição, considerando-se principalmente o teor de amido resistente, será utilizada nos processamentos.

#### IV – 2º Parecer do CEP:

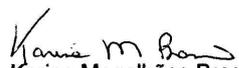
Dessa forma, e considerando a Resolução no. 196/96 item VII.13.b, que *define as atribuições dos CEPs e classifica os pareceres emitidos aos projetos de pesquisa envolvendo seres humanos*, e, ainda que a documentação apresentada atende ao solicitado, emitiu-se o parecer para o presente projeto: Aprovado.

Conforme a Resolução 196/96, é atribuição do CEP “acompanhar o desenvolvimento dos projetos através de relatórios anuais dos pesquisadores” (VII.13.d). Por isso o/a pesquisador/a responsável deverá encaminhar para o CEP-PUC-Campinas o relatório final de seu projeto, até 30 dias após o seu término.

#### V - Data da Aprovação: 03/12/07

Sendo só o que nos cumpre informar, aproveitamos da oportunidade para renovar votos de estima e consideração.

Atenciosamente.

  
Profa. Dra. Karina Magalhães Brasio  
Coordenadora do C.E.P.S.H.P  
PUC-Campinas