



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS
LABORATÓRIO DE TECNOLOGIA APROPRIADA**



**Efeito da composição química, origem e grau de
maturação sobre a cor e a crocância da banana
nanica obtida por secagem *HTST***

Aluna de Mestrado: Michelle Oliveira
Eng^a. de Alimentos – Universidade Federal de Viçosa – MG

Orientador: Prof. Dr. Celso Costa Lopes

**Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade
Estadual de Campinas para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de
Alimentos.**

Campinas, junho de 2007.

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA FEA – UNICAMP

OL4e Oliveira, Michelle
Efeito da composição química, origem e grau de maturação sobre a cor e a crocância da banana nanica obtida por secagem HTST / Michelle Oliveira. -- Campinas, SP: [s.n.], 2007.

Orientador: Celso Costa Lopes
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas.
Faculdade de Engenharia de Alimentos

1. Banana. 2. Secagem. 3. High temperature short time-HTST.
4. Crocância. 5. Cor. I. Lopes, Celso Costa. II. Universidade
Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia de Alimentos. III.
Título.

(cars/fea)

Título em inglês: Effect of chemical composition, origin and ripening stage on the color and crispness of banana nanica produced through HTST drying process

Palavras-chave em inglês (Keywords): Banana, Drying, High temperature short time-HTST, Crispness, Color

Titulação: Mestre em Engenharia de Alimentos

Banca examinadora: Celso Costa Lopes

Kil Jin Park

Luiz Antonio Viotto

Valdecir Luccas

Programa de Pós Graduação: Programa em Engenharia de Alimentos

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Celso Costa Lopes
(Orientador)

Prof. Dr. Kil Jin Park
(Membro)

Prof. Dr. Luiz Antonio Viotto
(Membro)

Prof. Dr. Valdecir Luccas
(Membro)

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela oportunidade de estar aqui neste mundo.

Ao meu pai e à minha mãe, por serem simplesmente maravilhosos, que nunca deixaram de me escutar, aconselhar, apoiar, acolher e educar a minha vida toda. Obrigada por serem responsáveis pelo vencimento desta etapa difícil e pela luta diária de ser pais únicos como vocês são.

Ao meu irmão Gustavo e cunhada Mariana, pessoas mais que queridas para mim, que mesmo estando distante nesta fase, sempre me trouxeram muita força e sabedoria.

À minha grande amiga Kelly, a quem tenho como irmã, por ter sido mais do que uma amiga, pela sua experiência, parceria, carinho e apoio.

Aos tios Cilene e Rivaldo, por fazer da minha vida em Campinas sempre mais alegre e por estar presente em todas as horas, inclusive nos momentos mais difíceis.

Ao Carlo, pelo companheirismo.

Às minhas avós Olga e Maria, que são pessoas especiais, pela força sabedoria que têm.

Às amigas Mariana, Fernanda, Vivian T., Vivian P. e Eveline, por presenciarem um pouco de cada etapa deste trabalho.

Aos colegas de classe Elizama, Geraldo, Fábio e Pedro, pelos bons momentos na Unicamp.

Ao professor e orientador Celso, pela orientação desta tese e pela amizade.

À Banca Examinadora, pelas valiosas sugestões para a dissertação.

A CNPq, pela concessão da bolsa de estudos.

À Olga, pela grande ajuda no CBCTA de 2006.

À Renata do laboratório de cor (DTA), pela paciência e compreensão no uso do colorímetro.

A todos do laboratório de bio-engenharia, pelo uso de equipamentos.

A Estat Junior do Instituto de Matemática e Estatística, pela análise estatística e tratamento dos resultados obtidos.

A Stablemicrosystem, na Inglaterra, pelas dicas através de e-mail sobre a análise e o equipamento de textura.

Aos professores do DEA, pela transferência de conhecimento durante as aulas ministradas.

Aos funcionários do DEA, especialmente s. Aparecido, D. Vani e D. Lia, pela simplicidade e alegria de todos os dias.

A Magário, no CEASA, pela paciência no fornecimento da matéria-prima.

SUMÁRIO

Lista de Figuras	xv
Lista de Tabelas	xix
Nomenclatura	xxi
RESUMO	xxiii
ABSTRACT	xxvii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1. Aspectos de composição, origem, produção e maturação da banana	5
2.1.1. Composição química	5
2.1.2. Origem e evolução da bananeira	6
2.1.3. Produção	7
2.1.4. Variedades	8
2.1.5. Processo de maturação	9
2.1.6. Transformações físicas, químicas e bioquímicas no amadurecimento	9
2.1.7. Estádios de maturação	13
2.2. Secagem de alimentos	14
2.2.1. Secagem	14
2.2.2. Secadores	17
2.2.3. Indústria de alimentos prontos para o consumo (<i>RTE</i>) do tipo <i>snacks</i>	17
2.2.4. <i>High Temperature Short Time (HTST)</i>	19
2.2.5. Secagem de frutas	20
2.2.5.1. Secagem de banana	21
2.2.5.1.1. Banana crocante	23
2.3. Atividade de água	25
2.4. Textura de alimentos	26
2.4.1. Crocância	30
2.5. Cor em alimentos	34
3. MATERIAL E MÉTODOS	41

3.1. Material	41
3.1.1. Matéria-prima	41
3.1.1.1. Fornecedores e armazenamento	41
3.1.2. Equipamento de secagem	42
3.1.3. Anemômetro	44
3.1.4. Termo-Higrômetro	44
3.1.5. Cortador de banana e paquímetro	44
3.2. Métodos	45
3.2.1. Preparação da matéria-prima	45
3.2.2. Caracterização química da matéria-prima	46
3.2.3. Medidas da atividade de água (a_w)	48
3.2.4. Cor	48
3.2.5. Textura Instrumental	49
3.2.6. Testes preliminares	50
3.2.6.1. Definição das faixas de sólidos solúveis ($^{\circ}$Brix)	50
3.2.6.2. Testes <i>HTST</i>	52
3.2.6.3. Determinação do perfil de arrefecimento	53
3.2.6.4. Testes da secagem completa	53
3.2.7. Operação de secagem	54
3.2.8. Análise estatística	56
3.2.8.1. Parâmetros de cor instrumental antes e depois do processo	54
3.2.8.2. Análise de Significância, Modelos de Regressão e Análise de Variância	57
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	59
4.1. Caracterização da matéria-prima	59
4.1.1. Determinações químicas	59
4.1.2. Atividade de água (a_w)	62
4.1.3. Cor instrumental	62
4.2. Testes preliminares	66
4.2.1. Testes <i>HTST</i>	66
4.2.2. Etapa intermediária de arrefecimento	67

4.2.3. Teste da secagem completa	69
4.3. Ensaio completos	71
4.4. Determinações do produto final	74
4.4.1. Atividade de água (a_w)	74
4.4.2. Cor instrumental	75
4.4.3. Textura instrumental	78
4.4.3.1. Curvas de força versus tempo	78
4.4.3.2. Crocância	79
4.5. Análise Estatística	80
4.5.1. Mudança dos parâmetros de cor da banana fresca para a crocante	80
4.5.2. Análise de significância	81
4.5.3. Modelos de Regressão	81
4.5.3.1. Modelo de Regressão para a força máxima (N)	81
4.5.3.2. Modelo de Regressão para o número de picos	82
4.5.3.3. Modelos de Regressão a^* e b^* da banana seca	82
5. CONCLUSÕES	85
6. SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS	87
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	89
8. APÊNDICE - Gráficos de força <i>versus</i> tempo de todas as condições deste experimento (ensaios 1 ao 10)	101

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 Desenho esquemático do equipamento de secagem_____	43
Figura 3.2 Foto do cortador de banana de aço inoxidável com espessura fixa___	45
Figura 3.3 (a) bandeja do equipamento com pedaços da matéria-prima pronta para a secagem; (b) rodela e quartos de rodela de banana com 1 cm de espessura_____	46
Figura 3.4 Fotos ilustrativas da banana originária de Registro (a) comprimento aproximado de 20cm; (b) bananas F1; (c) bananas F3_____	51
Figura 3.5 Fluxograma do processo de secagem aplicado_____	55
Figura 4.1 Gráfico de cor da matéria-prima procedente de Registro (ensaios 1-6)_____	64
Figura 4.4 Gráfico de cor da matéria-prima procedente de Eldorado (ensaios 4-10)_____	65
Figura 4.3 Gráfico de temperatura <i>versus</i> tempo da etapa de arrefecimento___	69
Figura 4.4 (a) bandeja do secador após o processo com o produto final; (b) banana crocante vista de cima e (c) banana crocante vista lateralmente, com aproximadamente 2 cm de comprimento e 1 cm de espessura_____	73
Figura 4.5 (a) Vista de cima e (b) vista lateral_____	73
Figura 4.6 Gráfico de cor do produto final obtido a partir da banana nanica procedente de Registro (ensaios 1- 6)_____	77
Figura 4.7 Gráfico de cor do produto final obtido a partir da banana nanica procedente de Eldorado (ensaios 7 - 10)_____	77
Figura 4.8 Gráfico força (N) x tempo (s) do ensaio 2 com dados de 3 testes de textura_____	78
Figura A.1 Gráfico de força versus tempo do teste de força em compressão obtido na análise de textura instrumental para o ensaio 1_____	102
Figura A.2 Gráfico de força versus tempo do teste de força em compressão obtido na análise de textura instrumental para o ensaio 2_____	103
Figura A.3 Gráfico de força versus tempo do teste de força em compressão obtido na análise de textura instrumental para o ensaio 3_____	104

Figura A.4	Gráfico de força versus tempo do teste de força em compressão obtido na análise de textura instrumental para o ensaio 4	105
Figura A.5	Gráfico de força versus tempo do teste de força em compressão obtido na análise de textura instrumental para o ensaio 5	106
Figura A.6	Gráfico de força versus tempo do teste de força em compressão obtido na análise de textura instrumental para o ensaio 6	107
Figura A.7	Gráfico de força versus tempo do teste de força em compressão obtido na análise de textura instrumental para o ensaio 7	108
Figura A.8	Gráfico de força versus tempo do teste de força em compressão obtido na análise de textura instrumental para o ensaio 8	109
Figura A.9	Gráfico de força versus tempo do teste de força em compressão obtido na análise de textura instrumental para o ensaio 9	110
Figura A.10	Gráfico de força versus tempo do teste de força em compressão obtido na análise de textura instrumental para o ensaio 10	111

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 Composição centesimal (%) da banana nanica (NEPA, 2006)	6
Tabela 2.2 Estádios de maturação da banana	13
Tabela 3.1 Faixas do teor de sólidos solúveis, em °Brix, para cada origem da fruta	50
Tabela 3.2 Ensaio do experimento	54
Tabela 4.1 Valores de composição química da banana nanica, em %, para duas origens e três graus de maturação distintos	60
Tabela 4.2 Atividade de água (a_w) da banana “in natura”	62
Tabela 4.3 Cor instrumental da banana fresca do sistema CIELAB	63
Tabela 4.4 Tempos de <i>HTST</i> testados e respectivas observações	66
Tabela 4.5 Escala de parâmetros (<i>HTST</i>)	67
Tabela 4.6 Perfil de redução da alta temperatura (150°C) para a convencional (70°C)	68
Tabela 4.7 Tempo de secagem (horas) necessário para alcançar $a_w < 0,3$	70
Tabela 4.8 Tempo total aproximado para cada ensaio	71
Tabela 4.9 Evolução da umidade relativa e temperatura do ar ambiente durante a secagem em cada ensaio	72
Tabela 4.10 Atividade de água (a_w) da banana crocante	74
Tabela 4.11 Cor instrumental da banana seca do sistema CIELAB	75
Tabela 4.12 Força máxima e n° de picos na curva força x tempo (média de 15 testes)	79
Tabela 4.13 Análise de significância das variáveis de entrada sobre as respostas	81
Tabela 4.14 ANOVA para a força máxima	82
Tabela 4.15 ANOVA para o n° de picos obtidos na textura instrumental	82
Tabela 4.16 ANOVA para o parâmetro de cor instrumental a^* (CIELAB)	83
Tabela 4.17 ANOVA para o parâmetro de cor instrumental b^* (CIELAB)	83

NOMENCLATURA

HTST	High Temperature Short Time
a_w	Atividade de água
RTE	Ready-to-eat
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
°Brix	Teor de sólidos solúveis (em graus Brix)
TAXT2i	Texture analyzer
CIELAB, CIELUV	Espaços de cores uniformes
L*	Luminosidade
a*	(verde-/vermelho+)
b*	(azul-/amarelo+)
LEP	Laboratório de Engenharia de Processos
FEA	Faculdade de Engenharia de Alimentos
DEA	Departamento de Engenharia de Alimentos
DTA	Departamento de Tecnologia de Alimentos
PID	Controlador de temperatura do equipamento de secagem
R1 a R6	Resistências do aquecedor do equipamento de secagem
F1, F2, F3	Faixas de teor de sólidos solúveis (°Brix)
P1, P2, P3, P4	Parâmetros de avaliação da banana crocante
A.O.A.C.	Association of Official Analytical Chemists
ITAL	Instituto de Tecnologia de Alimentos
R²	Coefficiente de Regressão
UR	Umidade relativa do ar
T_a	Temperatura do ar ambiente
F_{máx}	Força máxima obtida na análise de textura
GL	Graus de Liberdade
SS	Soma Quadrática
MQ	Média Quadrática

RESUMO

A banana crocante, para ser consumida na forma de *snacks*, pode ser obtida através de secagem com ar a altas temperaturas por um curto período de tempo (*HTST - High Temperature Short Time*) na fase inicial de secagem, seguida da secagem à temperatura média (50-70°C).

O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência da composição química da banana nanica (*Musa acuminata* Colla subgrupo *Cavendish*), proveniente de duas origens e três graus de maturação sobre as características de crocância e cor do produto final, o qual foi obtido através de secagem utilizando a etapa *HTST* a 150°C. O indicador do ponto final do processo foi a_w da banana crocante inferior a 0,3. As bananas foram trazidas da cidade de Registro (SP) e do município de Eldorado (SP) e utilizaram-se frutas com teor de sólidos solúveis nas seguintes faixas de °Brix: 18,9-19,5, 20,9-21,5 e 22,9-23,5. Nestas duas últimas faixas de °Brix, foram realizados ensaios de secagem em duplicata com bananas de Eldorado, e para bananas originárias de Registro, foram realizados ensaios em duplicata nas três faixas, totalizando 10 ensaios. Na matéria-prima foram determinados os teores de açúcares totais, açúcares redutores, amido, lipídios, cinzas e proteínas, enquanto que no produto final foi analisada a textura por método instrumental, determinando-se a força máxima e o número de picos do gráfico força *versus* tempo obtido em teste de força à velocidade constante. Além disso, a matéria-prima e a banana crocante foram submetidas à análise de cor instrumental, na qual foram determinados os parâmetros a^* , b^* e L^* referidos como o sistema CIELAB.

No geral, a matéria-prima de Eldorado apresentou maior teor de amido, lipídios e proteína e menor umidade, e era mais amarela e escura que a banana de Registro. Em termos de desenvolvimento da cor caramelo, encolhimento da estrutura, ocorrência de *puffing* e escurecimento, a operação de secagem que produziu a banana crocante de melhor qualidade foi composta pela seguinte seqüência de etapas: *HTST* (150°C por 18 min) + redução gradual de temperatura (50 min) + secagem a 70°C. O tempo total desta operação até que o produto final atingisse $a_w < 0,3$ variou de 7-9h, e os valores obtidos para a_w final foram entre 0,18 e 0,29. As curvas típicas de textura dos *snacks* apresentaram inúmeros picos, chegando à contagem de 54, caracterizando assim a

propriedade de crocância. Estatisticamente, a procedência, o grau de maturação e os teores de açúcares totais e redutores foram significativos para a crocância. Os parâmetros de cor foram afetados significativamente apenas pelos açúcares redutores e proteínas.

Palavras-chave: Banana, Secagem, High temperature short time-HTST, Crocância, Cor

ABSTRACT

In order to be consumed as a *snack*, crispy dried banana can be produced through the process of drying using high temperature for a short time (*HTST - High Temperature Short Time*) during the initial stage, followed by drying with an average temperature (50-70°C).

The aim of this study was to evaluate the effect of the chemical composition of banana nanica (*Musa acuminata* Colla subgrupo *Cavendish*), which was grown in two different regions and presenting three ripening stages, upon the crispness and color of final product, which was obtained by using a *HTST* stage at 150°C. The end of the process was pointed by the dried banana water activity being less than 0,3. The fruits were brought from the cities Registro (SP) and Eldorado (SP) and, the ones used had the following ranges of soluble solids content (°Brix): 18,9-19,5; 20,9-21,5 e 22,9-23,5. With bananas presenting the latter two °Brix ranges, dryings were performed in duplicates with bananas from Eldorado, whereas for the fruits originated in Registro, dryings were executed in duplicates using all the three °Brix intervals, comprising the total of 10 runs. The following contents in the raw material were determined: total sugar and reducing sugars, starch, fat, ash and protein, whereas the final product was evaluated by an instrumental texture analysis (maximum force and number of peaks in the force *versus* time graph obtained in force tests at constant velocity). Moreover, the raw material and final product underwent an instrumental color analysis, in which the parameters a^* , b^* e L^* referred as the CIELAB system, were determined.

Generally, the raw material from Eldorado presented higher starch, fat and protein content and less water, and it was also more yellow and darker than the one from Registro. In terms of the development of brown color, structure shrinkage, *puffing* and darkening, the drying operation that produced a crispy banana with the best quality comprised the following stage sequence: *HTST* (at 150°C for 18 min) + gradual reduction of temperature (50 min) + drying at 70°C. The total time of this operation until the final product reached $a_w < 0,3$ varied from 7 to 9h, and the values obtained for the final a_w were between 0,18 and 0,29. The typical texture graphs of the *snacks* showed several peaks, up to 54, which characterizes crispness. Statistically, the plantation site,

ripening stage and total and reducing sugar contents were significant. The color parameters were statistically affected only by reducing sugars and proteins.

Keywords: Banana, Drying, High temperature short time-HTST, Crispness, Color

1. INTRODUÇÃO

Devido ao alto teor de umidade das frutas e hortaliças (acima de 80%), elas são altamente perecíveis. Perdas estimadas entre 40-50% ocorrem em muitos países de região tropical e subtropical que não apresentam estabelecimentos de refrigeração e congelamento adequados. Dentre os processos tecnológicos de preservação empregados industrialmente, a desidratação é especialmente adequada para países com estabelecimentos de refrigeração e tratamentos térmicos precários (JAYAMARAN; DAS GUPTA, 1992).

Com a mudança do estilo de vida e hábitos alimentares da sociedade moderna, voltados para uma maior ingestão de frutas, de alimentos nutritivos, prontos para o consumo e sem aditivos químicos, a indústria de frutas desidratadas vem crescendo no mundo inteiro nos últimos anos e, apresenta um enorme potencial a ser explorado no Brasil.

Dentre as frutas desidratadas, destaca-se a banana por possuir sabor e textura atraentes, podendo ser consumida diretamente ou utilizada como ingrediente em misturas matinais, barras de fruta, coberturas e outros.

Com uma produção de 6.702.760 toneladas de banana em 2005 (FAO, 2007), o Brasil é o segundo maior produtor mundial da fruta, perdendo apenas para a Índia, que detém 23% da produção mundial. Porém, grande parte desta produção não é aproveitada, devido a perdas nas plantações por pragas e intempéries. Ocorrem também perdas durante o transporte, armazenamento, comercialização e na indústria, causadas por deterioração microbiana, danos mecânicos, reações que acarretam modificações sensoriais e outras alterações indesejáveis rejeitadas pelos consumidores. Além disso, em épocas de safra elevada, quando se produz acima da demanda, o mercado não é capaz de absorver toda a oferta. Portanto, o processamento da banana através de operações como a secagem a ar quente, desidratação osmótica ou liofilização, apresenta-se como uma alternativa importante de aproveitamento do excedente da produção, disponibilizando a fruta no mercado para a população durante o ano todo. Dessa forma, podem-se obter produtos de alto valor agregado como a banana-passa, farinha de banana, banana *chips* e, mais recentemente, a banana crocante, a qual se diferencia da última por não incluir a fritura em seu processamento, apresentando menor teor calórico. Tais produtos, consumidos na forma

de *snacks*, atendem às exigências do consumidor atual que, cada vez mais, busca praticidade e conveniência no preparo dos alimentos e, ao mesmo tempo, requer que os mesmos sejam saudáveis com excelência na qualidade.

A etapa de secagem constitui a etapa mais crítica, em termos de custo energético, na obtenção de produtos desidratados. Além disso, o processo empregando somente ar quente, pode não fornecer produtos de boa qualidade. Por esses fatores, têm-se combinado dois ou mais métodos de secagem no intuito de reduzir o tempo total de operação do equipamento. Uma dessas combinações é o modo de operação *HTST* - *High Temperature Short Time* seguido da secagem à temperatura média (50-70°C), a que se tem mostrado como uma boa alternativa para reduzir o tempo total de processo, eliminar a etapa anterior de branqueamento e produzir melhores características sensoriais do produto final, em especial aquelas que definem a crocância. A crocância da banana assim desidratada deve-se, fundamentalmente, ao fenômeno de *puffing* que ocorre quando há expansão da matriz sólida devido à formação de poros no interior do sólido causados pela passagem da água presente de seu estado líquido para o estado vapor. Em condições adequadas de secagem, o sólido pouco altera sua forma expandida e, ao final do processo, pode apresentar porosidade suficiente para que sua textura seja mais crocante.

Hofsetz (2003) estudou o processo de secagem de banana Nanica (*Musa acuminata* Colla subgrupo *Cavendish*) utilizando a técnica *HTST* e relatou que a medida sensorial de crocância apresenta uma relação direta com parâmetros determinados em testes instrumentais de compressão de força. As melhores características de crocância foram encontradas para uma etapa *HTST* a 180°C e 18 minutos seguida de secagem a 70°C até atividade de água (a_w) inferior a 0,3. Esta autora também constatou que a diferença da matéria-prima foi um fator relevante no processo, e influenciou as características do produto final e a cinética de secagem. A autora levantou a hipótese de que as diferenças observadas deveram-se a diferenças na composição química da matéria-prima.

Na literatura encontram-se diversos estudos sobre o processo de produção da banana-passa e banana *chips* que investigam a cinética de secagem, os parâmetros ótimos e os fenômenos físicos de transferência de calor e massa envolvidos. No entanto, há poucos estudos com ênfase na obtenção de um produto crocante, sem o uso de fritura, com teor de umidade final muito baixo e atividade de água inferior a 0,3.

Por estas razões, o presente trabalho propôs analisar o processo de desidratação de banana nanica (*Musa acuminata* Colla subgrupo *Cavendish*), utilizando uma combinação da secagem *HTST* (150°C por 18 minutos) seguida da secagem convencional a 70°C, com o objetivo de avaliar o efeito da composição da matéria-prima nas propriedades do produto final. Para isso, foi investigada a influência da origem e do teor de sólidos solúveis da fruta “in natura” sobre dois atributos de qualidade da banana crocante de extrema relevância: cor e textura instrumentais.

Os objetivos específicos do estudo foram:

- Selecionar o melhor tempo do modo de secagem *HTST* a 150°C, para a obtenção daquele que forneceu as melhores características de *puffing* e cor;
- Determinar o tempo de secagem, após a etapa *HTST*, de cinco condições distintas combinando duas origens e três faixas de graus de maturação da banana nanica até que sua atividade de água fosse inferior a 0,3;
- Determinar se houve diferença significativa entre os parâmetros de cor instrumental da fruta fresca e o produto final crocante;
- Avaliar a influência da origem e o grau de maturação, representado pelo teor de sólidos solúveis da banana “in natura”, sobre as características de crocância e a cor instrumental da banana crocante submetida à secagem a alta temperatura;
- Avaliar a influência da composição química da fruta, representada pelo teor de macro nutrientes (proteínas, açúcares, amido, cinzas e umidade), sobre as características de crocância e a cor instrumental da banana crocante após ter sido submetida à secagem a alta temperatura.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Aspectos de composição, origem, produção e maturação da banana

2.1.1. Composição química

A boa aceitação geral de uma fruta pelos consumidores se deve à sua composição química, conteúdo de vitaminas, além do seu aroma e sabor. Nesse sentido, as bananas (*Musa spp*) atendem muito bem às exigências, além de serem consumidas de maneira simples e sadia, pois a polpa é protegida, até o momento do consumo, por um grosso pericarpo que lhes dá assepsia perfeita e é facilmente removido (MEDINA *et. al.*, 1978). De acordo com os mesmos autores, uma banana pesa de 100-200g, conforme a variedade, e contém de 60-65% de polpa comestível, cujos carboidratos, aproximadamente 22%, são facilmente assimiláveis. A banana verde contém um alto teor de amido, que alcança cerca de 20%, e que, durante a maturação, se converte, através das amilases, em açúcares, com predominância dos redutores – glicose e frutose – encontrados na proporção de 8-10% da polpa, e da sacarose, com 10-12 %, além de outros açúcares. A porcentagem de amido na banana completamente madura é bem mais baixa, situando-se em torno de 0,5-2%. Quanto ao teor de umidade, considera-se que a fruta madura apresenta, em média, 75%.

Embora pobre em vitaminas e lipídios, a concentração de ambos nutrientes na banana supera a de várias outras frutas. Além disso, a banana contém tanta vitamina C quanto a maçã, razoáveis quantidades de vitamina A, B1 e B2 e pequenas de D e E. Dentre os sais minerais presentes, destacam-se: o potássio (350-400 mg por 100g de matéria seca); fósforo (25-30 mg); cálcio (8-10 mg), sódio (40-50 mg); magnésio (25-35 mg); e outros em menor quantidade como o ferro, manganês, iodo e cobre. As proteínas e gorduras estão presentes em baixa porcentagem, porém, são consideradas de boa qualidade nutritiva (MEDINA *et. al.*, 1978).

A Tabela 2.1 apresenta a composição centesimal mais recente da banana nanica “in natura” (NEPA, 2006).

Em relação ao conteúdo calórico, a banana é um alimento altamente energético, cerca de 110 calorias por porção, a qual é composta por uma fruta de tamanho médio com aproximadamente 126g (UNCTAD, 2007).

Tabela 2.1: Composição centesimal (%) da banana nanica (NEPA, 2006).

Componentes químicos	Teor (%)
Água	74
Carboidrato	24
Colesterol	0
Fibra Dietética	1,9
Lipídeos	Traços
Proteína	1
Cinzas	0,8

2.1.2. Origem e evolução da bananeira

De acordo com Moreira (1987), não se pode afirmar com exatidão a origem da bananeira, pois ela se perde na mitologia grega e indiana. Atualmente admite-se que ela seja originária do Oriente, sul da China ou Indochina.

A primeira introdução da bananeira na América, mais precisamente em São Domingos, em 1516, proveio das Ilhas Canárias, para onde os navegantes portugueses a haviam levado da África Ocidental (MEDINA *et. al.*, 1978).

A bananicultura tem evoluído consideravelmente nas décadas de 70, 80 e 90, por ser um dos cultivos perenes de mais rápido retorno do capital investido. Além disso, ela apresenta um fluxo contínuo de produção a partir do primeiro ano, o que a torna muito atraente para os agricultores. As bananeiras produtoras de frutos comestíveis são da classe das Monocotiledôneas, família Musacea (ALVES, 1999).

A bananeira, por ser uma planta tipicamente tropical, exige calor constante, precipitações bem distribuídas, elevada umidade e alta luminosidade para o seu bom desenvolvimento e produção. A faixa de temperatura ótima para o desenvolvimento dos

bananais é de 26-28°C, com mínimas não inferiores a 15°C e máximas não superiores a 35°C. A precipitação efetiva anual ideal é de 1.200-1.800 mm/ano. O efeito da luminosidade sobre o ciclo vegetativo da bananeira é bastante evidente, influenciando a duração do ciclo de produção. Em locais de maior luminosidade há uma redução do ciclo da cultura (EMBRAPA, 2003).

2.1.3. Produção

Pelas exigências de clima e solo, o Brasil apresenta condições favoráveis ao cultivo de banana em quase toda a sua área territorial. Dados da Embrapa mostram que a cultura da banana ocupa o segundo lugar em volume de frutas produzidas e consumidas no Brasil e a terceira posição em área colhida. Os diversos níveis sócio-econômicos da população brasileira consomem banana não só como sobremesa, mas também como uma fonte alimentar. Todavia a parcela da renda gasta na aquisição deste produto é de 0,87% do total das despesas com alimentação. A produção brasileira de banana está distribuída por todo o território nacional, sendo a região Nordeste a maior produtora (34%), seguida das Regiões Norte (26%), Sudeste (24%), Sul (10%) e Centro-Oeste (6%). A área plantada no Brasil é cerca de 520.000 ha, dos quais o Pará participa com cerca de 54.580 ha, ocupando a primeira posição no cenário nacional (EMBRAPA, 2003).

Quanto ao volume total da produção nacional, em 2005 foram produzidas 6.702.760 toneladas da fruta. Nosso país ocupa a segunda posição do planeta, ficando atrás apenas da Índia, que produziu 16.820.000 toneladas da fruta em 2005 (FAO, 2007).

De acordo com Alves (1999), a produção brasileira de banana é quase totalmente consumida na forma “in natura” pelos diversos níveis sócio-econômicos da população. Mesmo assim, um percentual inferior a 2% é utilizado no processo industrial. No Brasil, a maioria das unidades industriais processadoras concentra-se nas regiões Sudeste e Sul. Portanto, o potencial de industrialização da banana para a produção de vinagre, purê, doces, banana-passa, banana crocante, banana *chips*, flocos, farinha e outros, ainda necessita ser bastante explorado.

Devido ao crescimento da indústria de alimentos prontos para o consumo, tipo *snacks*, o potencial da banana para o processamento, como por exemplo, na produção de *chips*, tem

se tornado importante em países como o Brasil, onde esta fruta é largamente produzida. Entretanto, há pouca informação sobre a influência da variedade e do estágio de maturação da mesma sobre as características físico-químicas do produto final (AMMAWATH *et al.*, 2001).

Em um estudo com cenouras realizado por Baardseth *et al.* (1995), a variedade tem uma influência significativa sobre a cor, o sabor, a suculência e a crocância. Já o local de cultivo (condições ambientais) afeta significativamente a cor, o sabor doce, o sabor amargo, o sabor residual e de terra, a suculência e a crocância.

2.1.4. Variedades

As bananas, que constituem as frutas mais populares do mundo, são membros do gênero *Musa* (parte da família Musaceae) e considera-se que elas são derivadas das espécies selvagens *Musa acuminata* (AA) e *Musa balbisiana* (BB). Acredita-se que há quase 1000 variedades de banana espalhadas pelo planeta, as quais estão subdivididas em 50 subgrupos (UNCTAD, 2007).

Embora exista um número expressivo de variedades de banana no Brasil, quando se consideram aspectos como preferência dos consumidores, produtividade, tolerância a pragas e doenças, resistência à seca, porte e resistência ao frio, restam poucos cultivares com potencial agrônomo para serem usados comercialmente. Os cultivares mais difundidos no Brasil são: Prata, Pacovan, Prata Anã, Maçã, Mysore, Terra e D'Ângola, Nanica, Nanicão e Grande Naine, sendo que a Prata e a Pacovan são responsáveis por aproximadamente 60% da área cultivada com banana no território brasileiro (ALVES, 1999).

A escolha da variedade da banana depende da preferência do mercado consumidor e do destino da produção, seja para a indústria ou para o consumo “in natura”.

A banana Nanica (*Musa acuminata* Colla subgrupo *Cavendish*), também conhecida como baé, banana-d'água, verde, anã, caturra, cambota e baba-da-china, é o clone mais espalhado e um dos mais importantes na economia mundial (MEDINA *et. al.*, 1978).

Segundo Alves (1999), a banana nanica apresenta um alto potencial de produtividade, contudo não é bem apropriada para a exportação, mas bastante utilizada no processamento industrial.

2.1.5. Processo de maturação

A proporção com que ocorrem as transformações na aparência, textura e composição química da banana, depende da atividade das diferentes enzimas nela presentes. Estas, entretanto, são estimuladas ou inibidas pelas condições físicas às quais a fruta é submetida. Assim, em uma câmara de maturação, devem-se levar em conta os seguintes fatores: temperatura, umidade relativa, gás ativador de maturação, ar atmosférico, circulação de ar e exaustão (MEDINA *et. al.*, 1978).

De acordo com os mesmos autores, a atividade respiratória cresce em função da temperatura e, portanto, se esta for elevada, há maior absorção de oxigênio. Para a industrialização, procura-se fazer a maturação a 20°C, o que diminui o tempo de permanência das frutas na câmara, porém estas não apresentam muita estabilidade quando maduras e mantidas em condições ambientes, visto que a maturação prossegue e logo surgem pontos escuros na casca, o que significa maturação excessiva. Quando a temperatura é mais elevada, entre 20-22°C, dificilmente as reações químicas dos componentes da fruta podem ser impedidas. Já a umidade relativa do ambiente de maturação deve ser controlada para evitar que a fruta murche, perdendo peso excessivo, e que a casca se torne enrugada e de coloração opaca, pois a banana perde constantemente umidade através da respiração. A baixa umidade relativa do ar pode tornar mais acentuadas as manchas causadas por danos mecânicos, e também contrair e fechar os órgãos de respiração, retardando a maturação.

2.1.6. Transformações físicas, químicas e bioquímicas no amadurecimento

As transformações químicas e bioquímicas que ocorrem na banana durante a sua maturação têm sido objetos de constantes estudos nos diversos centros de pesquisa do mundo, procurando-se obter resultados satisfatórios sobre o comportamento da fruta em

todo o processo, o que é de grande importância tanto para o mercado de fruta fresca como para a indústria (MEDINA *et. al.*, 1978).

A composição da banana sofre diversas mudanças durante a sua maturação. Segundo Goswami e Borthakur (1996), os teores de umidade, gordura e proteína bruta e a maioria dos minerais são mais altos durante os primeiros estágios de maturação da banana e vão decrescendo conforme a maturação avança.

Na banana verde, cada uma das células que constituem a polpa possui uma rígida membrana, composta principalmente de substâncias insolúveis conhecidas como protopectina. Internamente, encontram-se numerosos grãos sólidos de amido. Durante a maturação, a protopectina é parcialmente transformada pela ação de enzimas, formando pectina solúvel, da qual resulta o amolecimento da membrana. Simultaneamente, o amido é transformado em açúcares solúveis, que começam a se dispersar no interior da célula, formando uma massa semi-sólida. Assim, através dessas alterações químicas, a banana verde e dura se torna mais macia e saborosa (MEDINA *et. al.*, 1978). Segundo ainda estes autores, a banana verde apresenta baixa acidez orgânica, a qual, embora aumente no princípio do processo de maturação, decresce na fruta madura, encontrando-se em maior quantidade o ácido málico, vindo a seguir o oxálico, cítrico, acético e butírico. A fruta possui duas classes de pigmentos: a clorofila (verde) e o caroteno (amarelo) e, no decorrer da maturação, o primeiro é gradualmente destruído pela ação enzimática, tornando o segundo cada vez mais evidente. Em relação à adstringência da fruta verde, esta característica ocorre devido ao tanino livre que se acha presente em considerável quantidade na polpa. Durante a maturação, esse tanino se combina com os açúcares, ou entra no metabolismo da respiração, anulando a adstringência. Já os componentes voláteis responsáveis pelo aroma, como os aldeídos e os álcoois isoamílicos, somados ao agradável sabor tornam a banana uma fruta de alta qualidade.

As amilases participam da hidrólise do amido, mas elas provavelmente não estão ligadas com a síntese de sacarose. A transformação de amido em sacarose durante a maturação de banana envolve diversas enzimas e mais de uma via. Apesar da importância dessa transformação em termos de fisiologia da fruta, pouco se sabe sobre os mecanismos envolvidos (ZHANG *et. al.*, 2005).

Prabha e Bhagyalakshmi (1998) descreveram um quadro compreensivo das mudanças nos carboidratos, carboidrato-hidrolases, estrutura celular e textura da banana durante a sua maturação. Para tal, os carboidratos insolúveis foram separados em sete frações baseadas na solubilidade diferencial. Eles verificaram que a fração de pectina na polpa da banana diminuiu de 1,1% para 0,8% e também ocorreu uma pronunciada degradação de glucana e xilana. Os vários tipos de carboidrato-hidrolases registraram um aumento geral nas suas atividades. O teor de amido, inicialmente 18% na fruta verde, quase desapareceu no estágio mais maduro, enquanto que os açúcares solúveis tiveram suas concentrações aumentadas em 10 vezes, variando de 1,8% (banana verde) para 18,6% (banana madura). Em termos microscópicos, foram evidenciados os seguintes fenômenos: perda de integridade e estreitamento da parede celular; aumento dos espaços intercelulares; perda de células; desaparecimento dos grânulos de amido. Além disso, os pesquisadores constataram que a pectinase na banana apresentou um papel mais dominante que a celulase sobre o seu amolecimento, enquanto que as enzimas amilase, xilanase e laminarinase também podem contribuir para a perda das estruturas celulares. Mais especificamente, a razão amilose:amilopectina na fração de amido permanece constante durante o processo de maturação da banana (GOSWAMI; BORTHAKUR, 1996).

Fernandes, Carvalho e Cal-Vidal (1979), analisaram a banana prata (*Musa paradisiaca*) durante a maturação natural sob temperatura ambiente. Os resultados mostraram que as transformações químicas mais importantes que ocorrem são a hidrólise do amido e a acumulação de açúcares. Aproximadamente 23% da fruta “in natura” era amido, o qual foi quase que completamente hidrolisado no fim do processo após uma semana, reduzindo-se a apenas 0,6% na banana totalmente madura. O teor de sólidos solúveis, utilizado como índice de maturação para as análises físicas, elevou-se de 3,5% no estágio inteiramente verde para 26%. Já os açúcares redutores e não-redutores aumentaram de traços a 16,3% e 6,5%, respectivamente. O peso médio da fruta e da casca reduziu-se significativamente, porém, observou-se um aumento no peso da polpa. Finalmente, para um intervalo de teor de sólidos solúveis variando entre 5-20%, o diâmetro médio da polpa permaneceu praticamente constante, ao contrário do intervalo entre 20-30%, no qual esse parâmetro elevou-se em 20%; e a espessura da casca apresentou um decréscimo linear durante a maturação.

Adão e Glória (2005) investigaram as mudanças durante o amadurecimento de banana prata, alcançando a cor considerada ideal pelos consumidores em vinte e um dias. Nos primeiros sete dias de estocagem, a sacarose foi o açúcar predominante. No entanto, após catorze dias, a frutose e glicose foram os açúcares solúveis que prevaleceram. Até vinte e um dias, os níveis de frutose e glicose aumentaram, permanecendo inalterados daí por diante.

Segundo Salvador, Sanz e Fiszman (2007), a cor da casca da banana é usada para prever o tempo-de-prateleira na distribuição do varejo e a textura é uma parte importante para a qualidade no consumo. Com a intensificação da coloração amarela da casca, a cor da polpa se altera de um branco opaco, típico de um produto com alto teor de amido, para um amarelo bem leve. Em bananas Musa Cavendish, a hidrólise do amido e a síntese de açúcar já estão normalmente completadas no estágio final de maturação, enquanto que em outros tipos de Musa, os processos são mais vagarosos e continuam na fruta muito madura e senescente. Estes autores estudaram dois aspectos da qualidade de duas variedades diferentes de banana, uma mais consumida na Europa (do grupo Musa Cavendish AAA) e a Prata (do grupo Musa *paradisiaca* AAB), bastante conhecida na América Latina. Os resultados mostraram que o processo de maturação difere entre os dois grupos. No primeiro, as mudanças em cor e textura ocorrem gradualmente durante o tempo de armazenamento, ao contrário da segunda, na qual este processo é mais irregular, pois as maiores transformações em tais atributos aconteceram próximo do fim do período de estocagem.

Ammawath *et. al.* (2001) estudaram a qualidade das bananas fritas tipo *chips*, preparadas a partir de duas variedades diferentes da fruta (*Pisang Abu* e *Pisang Nangka*), em dois estádios de maturação, os quais os autores denominaram de “verde” e “traço de amarelo”. Os dados obtidos mostraram que a primeira variedade apresentava maior teor de carboidrato do que a segunda, em ambos os estádios, antes do processamento. Por outro lado, os *chips* produzidos através da variedade *Abu* apresentaram menor teor de umidade e atividade de água e, no estágio “verde” de maturação, os mesmos foram os mais crocantes dentre todas as amostras. Quanto ao conteúdo de açúcares totais da fruta fresca, houve diferença significativa entre as variedades e os estádios de maturação, sendo esta quantidade menor na banana “verde” se comparada à banana “traço de amarelo”. Em

relação à análise sensorial, ainda esta mesma variedade resultou em produtos de melhor cor, sabor, odor, textura e aceitação geral. Estes autores concluíram que quanto maior a firmeza e o conteúdo de carboidratos da banana “in natura”, maior a crocância e a absorção de óleo do produto final. Já o inverso ocorre com a umidade da fruta fresca, a qual produz *chips* menos crocantes se apresentar uma maior quantidade de água.

2.1.7. Estádios de maturação

De acordo com Medina *et. al.* (1978), a banana pode ser classificada em oito estádios de maturação que constituem uma escala baseada no aspecto da fruta e nos teores de amido e açúcar, a qual está apresentada na Tabela 2.2:

Tabela 2.2: Estádios de maturação da banana

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

Segundo Ward e Nussinovitch (1996), a avaliação do grau de maturação da banana é normalmente feita através da comparação da cor da casca com Figuras já padronizadas. A cor da casca é conhecida por apresentar uma boa correlação com a conversão de amido em açúcar, desenvolvimento de sabor e características favoráveis de textura da polpa. Em vista disso, foram determinadas relações entre o brilho e outros parâmetros da banana com a cor da casca desta fruta, para verificar se o seu brilho pode representar um indicador do estágio de maturação da fruta. Em seu experimento, utilizaram um medidor adequado para medir o brilho de superfícies curvadas, paralelamente a um medidor convencional de superfícies

lisas, para determinar o brilho da casca de bananas *Dwarf Cavendish* em amadurecimento. Esse processo foi acompanhado por uma redução gradual do brilho, o qual se correlacionou bem com outras mudanças físicas e químicas na banana, incluindo pH, ° Brix, teor de amido da polpa, rugosidade da casca e, além disso, alterações da cor da casca, um indicador do grau de maturação das frutas. Os autores concluíram que a redução do brilho da casca de banana durante o seu amadurecimento pode ser resultado da diminuição do conteúdo de cera epicuticular, a qual foi observada. Os resultados sugeriram que a medida do brilho da casca apresenta potencial para ser um critério de determinação do grau de maturação em bananas.

2.2. Secagem de alimentos

2.2.1. Secagem

A desidratação é uma das operações unitárias mais relevantes e desafiadoras no processamento de alimentos, na qual água é removida para inibir o crescimento de microorganismos assim como evitar a ocorrência de reações químicas (CÁNOVAS, 1996).

A remoção de água tem sido usada durante séculos como um modo de preservação de alimentos. A secagem ao sol é um processo importante para a desidratação de grãos e legumes produzindo mudanças estruturais pequenas, que até mesmo a viabilidade de suas sementes é preservada (AGUILERA; CHIRALT; FITO, 2003).

Este tipo de secagem é, provavelmente, o processo de conservação mais antigo que é usado até hoje, principalmente em países como a Índia onde o tradicional consumo de frutas secas faz parte da cultura das populações. Há algumas desvantagens: exigência de grandes áreas e muita mão-de-obra, dificuldade em controlar a taxa de secagem, infestação por insetos, pragas, pássaros e, mais perigosamente a contaminação microbiológica.

Os processos envolvidos no complexo fenômeno da desidratação se referem à transferência de momentum, calor e massa. Os mecanismos deste fenômeno podem ser classificados em três categorias: evaporação de uma superfície livre, fluxo líquido em capilares e difusão de líquido ou vapor no interior do sólido. Tais mecanismos controladores do processo de secagem de um produto sólido dependem da sua estrutura,

teor de umidade e dimensões e dos parâmetros de secagem como a temperatura média de aquecimento, as taxas de transferência de superfície e a umidade de equilíbrio. A secagem pode envolver os distintos modos de transferência de calor: convecção, condução ou radiação (SHARMA; MULVANEY; RISVI, 2000).

A operação de secagem ocorre em 3 etapas. Na primeira, denominada de período zero, a taxa de secagem é alta, pois a superfície do produto está mais fria que o ar e, portanto, sua temperatura eleva-se rapidamente. Numa segunda etapa, definida como período 1, a remoção de umidade se dá à taxa constante porque a umidade interna do produto é transportada para a superfície na mesma velocidade com que ocorre a evaporação na superfície. E na última etapa, denominada de período 2, a taxa é decrescente devido à limitação de migração interna de água no produto (DAUDIN, 1983).

A taxa de secagem (kg de água/h m²) de um material depende das propriedades do mesmo, como por exemplo, densidade e tamanho do produto a ser seco, teor de umidade inicial e sua umidade de equilíbrio sob as condições de secagem (SHARMA; MULVANEY; RISVI, 2000). Outro fator importante que afeta a taxa e, conseqüentemente, o tempo de secagem, é a textura do produto, incluindo-se a aspereza da superfície e a porosidade do mesmo (LUSAS; ROONEY, 2001).

Deve-se evitar a taxa máxima de secagem se esta resulta em encolhimento, endurecimento e ruptura da superfície ou outros efeitos indesejáveis (SHARMA; MULVANEY; RISVI, 2000). Segundo Aguilera, Chiralt e Fito (2003), elevar a taxa de secagem e obter as características desejadas no produto final, tem sido o maior desafio para engenheiros de alimentos.

Em relação aos aspectos nutricionais, o alimento perde seu teor de umidade, o que resulta em um aumento da concentração de compostos na massa remanescente. Proteínas, gorduras e carboidratos estão presentes em maiores quantidades por unidade de peso no produto seco. Porém há perda de vitaminas, pois as solúveis em água são parcialmente oxidadas, como por exemplo, o ácido ascórbico e o caroteno (DESROSIER; DESROSIER, 1997).

De acordo com Nijhuis *et al.* (1998), a qualidade dos alimentos desidratados depende em parte das mudanças que ocorrem durante o processamento e o armazenamento.

Algumas dessas mudanças envolvem modificações na estrutura física desses produtos, afetando a textura, o grau de reidratação e a aparência.

Dentre as características usadas para descrever alimentos desidratados estão: atividade de água, deterioração microbiana, reações enzimáticas e não-enzimáticas, fenômenos físicos e estruturais, destruição de nutrientes, aroma e sabor (CÁNOVAS, 1996).

Além de conservar o produto e prolongar sua vida-de-prateleira, a secagem pode ser feita também com os seguintes objetivos: obtenção de forma física, cor, sabor ou textura desejada, praticidade no manuseio e rapidez no preparo dos alimentos, desenvolvimento de novos produtos e redução do volume ou peso para o transporte, com reflexos nos custos de transporte e armazenamento. Além disso, a secagem pode ser utilizada para preservar os excedentes de produção durante a safra e agregar valor aos hortifrutícolas que poderão ser comercializados por períodos mais extensos do ano (CÁNOVAS, 1996).

Avanços em técnicas e o desenvolvimento de novos métodos de secagem com eficiência melhorada têm contribuído significativamente para atender a crescente demanda por alimentos de rápido preparo que requerem o uso de frutas e hortaliças desidratadas como ingredientes. Dessa forma, muitos esforços têm sido direcionados para produzir tais ingredientes rapidamente reconstituíveis usados em refeições pré-formuladas nas redes de *fast food*. Esses produtos são relevantes ao mercado moderno de alimentos e produzidos através de métodos otimizados de aquecimento, transferência de massa e expansão da estrutura para aquisição de porosidade, além do uso de aditivos (JAYAMARAN; DAS GUPTA, 1982).

Em seu trabalho, Aguilera, Chiralt e Fito (2003) ressaltaram que a desidratação de alimentos deve ser vista não apenas como uma operação unitária, mas também como um método potencial que produza estruturas únicas mesmo que sejam provenientes da mesma matéria-prima. Ela oferece propriedades que não são comparadas a nenhuma outra tecnologia de conservação, como por exemplo, ótima estabilidade a temperatura ambiente, conveniência, versatilidade do produto, redução de custos e impacto ambiental mínimo.

2.2.2. Secadores

A classificação de secadores industriais é bastante complexa devido à gama de equipamentos que estão disponíveis, além do grande número de variáveis a serem consideradas. De acordo com Raghavan e Orsat (2006), a seleção de um determinado secador ou método de secagem depende do tipo de matéria-prima e suas propriedades, das características desejáveis no produto seco e das restrições nas condições de operações, assim como os custos.

Alguns dos tipos de secadores mais utilizados são: secador de bandeja, coluna, túnel, rotacional, *spray dryer*, *drum dryer*, *freeze dryer*, leito estacionário ou em movimento, pneumático, à vácuo e leito fluidizado.

Há três tipos básicos de processo de secagem: (1) secagem solar; (2) secagem atmosférica, podendo ser em batelada ou contínua (secador de bandeja, coluna, túnel, esteira, leito fluidizado, *explosion puffing*, *foam-mat*, *spray dryer*, e microondas); e (3) sub-atmosférica (secador à vácuo, *freeze dryer* e *drum dryer*) (RAGHAVAN; ORSAT, 2006).

2.2.3. Indústria de alimentos prontos para o consumo (RTE) do tipo *snacks*

O mercado mundial de alimentos preparados do tipo *snacks* é pelo menos o dobro do tamanho do mercado dos EUA, sendo então estimado em aproximadamente 30-35 bilhões de dólares em vendas anuais (LUSAS; ROONEY, 2001).

Snacks são desenvolvidos para serem menos perecíveis e com maior apelação ao consumidor do que os alimentos frescos. Diferentes tipos de *snacks* estão disponíveis no mercado, tal que a nova geração desta classe de produto se enquadra em categorias diversas como a de baixo teor de gordura, assado e não frito, à base de arroz / trigo com alta fibra e *snacks* com cobertura. Os produtos prontos-para-consumo (*RTE - ready-to-eat*) têm, geralmente, baixo conteúdo de umidade e uma mudança neste componente afeta diretamente a sua textura e, conseqüentemente, aqueles menos crocantes não são aceitos pelo consumidor. A medida da crocância deste alimento constitui um procedimento ainda a ser bem estabelecido (MAZUMDER; ROOPA; BHATTACHARYA, 2007).

Os alimentos *RTE* podem ser preparados através de fritura, tostagem, *puffing*, transformação em flocos, e principalmente por extrusão. Esses produtos incluem biscoitos e cereais expandidos, pipoca, flocos de arroz, milho e soja com ou sem fritura, batata *chips*, e muitos outros que poderão ser desenvolvidos.

Muitos métodos de secagem têm sido projetados para produtos específicos como os *snacks*. Um desses métodos importante é o chamado *thermal puffing*, no qual se utiliza alta temperatura de secagem para eliminar a água superaquecida do produto na forma de vapor, provocando a expansão de seu volume.

Os principais fatores que afetam essa técnica são a temperatura e o tempo de *puffing*, além do teor de umidade inicial e o conteúdo de amido do material. A operação provoca a expansão repentina da umidade do alimento em vapor e assim, o mesmo é expandido e simultaneamente cozido. O *puffing* ideal cria um *snack* aerado, poroso, de textura característica e com os benefícios adicionais da desidratação (NATH; CHATTOPADHYAY; MAJUMDAR, 2007).

Varnalis *et al.* (2004) estabeleceram o pré-tratamento e as condições de secagem apropriadas para a produção de cubos de batata desidratados de alta qualidade que poderiam ser consumidos na sua forma seca (*snack*) ou reidratada (sopa). Através da metodologia de superfície de resposta, eles determinaram ótimas condições de branqueamento em uma solução de metabissulfito de sódio por 10min e uma pré-secagem a 90°C durante 40 min; enquanto a temperatura ótima de *puffing* foi de 200°C. O produto final otimizado apresentou qualidades favoráveis se comparado àquele obtido por secagem convencional a ar quente à temperatura intermediária.

Mazumder, Roopa e Bhattacharya (2007) estudaram o efeito da umidade sobre a textura de um *snack* de milho, o qual foi submetido à compressão e análise da microestrutura, no intuito de relacionar a textura com o comportamento de ruptura do produto. Eles concluíram que o teor de umidade desempenha papel significativo sobre a textura de *snacks RTE*, pois afeta diretamente o comportamento crocante, fator chave para a aceitação dos mesmos. A compressão uniaxial mostrou curvas características de força x tempo com diferentes magnitudes de força.

2.2.4. *High Temperature Short Time (HTST)*

Segundo Mujumdar, no Simpósio Internacional de Secagem de 2006, o setor de pesquisa e desenvolvimento em secagem de sólidos e líquidos tem crescido continuamente durante as últimas três décadas. A intensidade de energia nas operações industriais tem sido a razão principal seguindo a crise de energia dos anos 70. Se os custos de energia são os guias das inovações em secagem devido às situações globais envolvendo fornecimento de óleo e gás, então haverá maiores pressões em relação ao desenvolvimento de tecnologias mais eficientes em termos de energia, e mesmo no uso de fontes renováveis nas indústrias de operação de secagem. A necessidade de interação entre o setor acadêmico e a indústria e a colaboração internacional em P&D nunca foram tão fundamentais para o sucesso. Novos produtos, processos, maiores taxas de produção, regulamentações ambientais mais severas, preocupações mais fortes com a segurança, entre outros fatores, frequentemente demandam melhores performances a menores custos comparados aos secadores tradicionais. Essa necessidade levou a algumas inovações nas tecnologias de secagem.

Para diminuir o consumo de energia, têm sido feitos consideráveis esforços tais como a incorporação de operações múltiplas, aplicação de métodos de aquecimento de alta frequência como microondas para auxiliar na secagem e, combinação de técnicas para melhorar a eficiência. Modos de operação de secagem tais como *Centrifugal Fluidized Bed (CFB)*, *Continuos Explosion Puffing Systems (CEPS)*, *High Temperature Short Time (HTST)*, secagem pneumática e *High Temperature Fluidized Bed (HTFB)* têm contribuído significativamente nesse sentido (JAYAMARAN; DAS GUPTA, 1992).

A condição de secagem *HTST*, ou secagem a alta temperatura por curto tempo, constitui uma inovação na área de secagem que tem como principal objetivo a redução no tempo total de secagem e, portanto, no custo energético. Ela é normalmente usada em combinação com outros modos de operação, como, por exemplo, ser aplicada seguida da secagem a ar quente utilizando-se uma temperatura convencional, entre 50 e 70°C, que varia conforme a matéria-prima. Durante o período de alta temperatura, observa-se a ocorrência do *thermal puffing*. Há poucos estudos que reportam a aplicação dessa técnica, sendo ainda objeto de investigações mais profundas.

Shultz *et al.* (2007) estudaram os efeitos de diferentes pré-tratamentos de secagem convectiva de maçã, com objetivo de obter produtos de baixa densidade, comparando-os com a secagem sem qualquer tipo de pré-tratamento. Para isso, eles submetem as frutas a três condições distintas: processo de secagem *HTST*, impregnação com amido e a combinação das duas primeiras. Eles concluíram que a etapa *HTST* acelera a secagem. Por outro lado, o tratamento com amido acrescenta uma resistência externa à secagem, o que foi indicado por tempos mais longos de processo.

Nath, Chattopadhyay e Majumdar (2007) desenvolveram *snacks RTE* de batata através da secagem *HTST*. Eles investigaram os efeitos da temperatura de *puffing* (175-275 °C), o tempo de *puffing* (15-75s), a umidade inicial (30-40%) e a velocidade do ar (2,4-4,8 m/s) sobre atributos de qualidade tais como a razão de expansão, dureza, perda de ácido ascórbico e aceitação geral do produto final. O objetivo do trabalho foi otimizar os parâmetros do processo *HTST* para o desenvolvimento de *snack* de batata *RTE*, através da metodologia de superfície de resposta. As qualidades do produto otimizado, em termos de razão de expansão (4,7 vezes), dureza (1120,83 g), perda de ácido ascórbico (17,53% em base seca) e aceitação geral (7,56), foram obtidas a uma temperatura de ar de 235,46 °C, tempo de retenção de 51,11 s, teor de umidade inicial de 36,74% e velocidade do ar de 3,99 m/s. Os valores preditos pelos modelos desenvolvidos foram próximos aos valores obtidos experimentalmente.

2.2.5. Secagem de frutas

Frutas secas e desidratadas são mais concentradas do que qualquer outra forma de alimentos conservados. Elas são menos custosas para serem produzidas, requerem mão-de-obra, equipamento e mínimas exigências de armazenamento; além de apresentar custos de distribuição reduzidos (DESROSIER; DESROSIER, 1997).

Segundo Greensmith (1998), os Estados Unidos são de longe os maiores produtores de frutas secas. Outros países com uma exportação substancial são Grécia, Iran, Turquia, Portugal, Iraque, Algéria, Austrália, Argentina, Egito e África do Sul. A secagem ao sol sempre foi importante como uma técnica de secagem para frutas e é ainda utilizada extensivamente para maçãs, ameixas e algumas uvas.

A maioria das frutas é particularmente difícil de ser desidratada utilizando-se ar quente, pois elas sofrem mudanças estruturais severas (encolhimento) e descoloração (AGULIERA; CHIRALT; FITO, 2003).

Para se obter um produto final de boa qualidade, é necessário utilizar matérias-primas adequadas e métodos e condições de secagem apropriadas uma vez que ocorrem diversas alterações físico-químicas durante o processamento, como escurecimento, perda de nutrientes e componentes aromáticos e encolhimento, além da formação de compostos indesejáveis. Um dos principais problemas que ocorrem durante a desidratação de frutas é o encolhimento, que prejudica a sua aparência, textura e reidratação. Conseqüentemente, métodos tradicionalmente aplicados para a obtenção de frutas secas com baixo teor de umidade, como a desidratação em secadores de bandeja e túnel, não são eficazes para a obtenção de uma boa qualidade (CARDOSO, 1998). De acordo com a mesma autora, um tipo de remoção de umidade bastante utilizado em frutas e hortaliças é a desidratação osmótica, no qual o material é imerso em uma solução hipertônica de sal ou açúcares, ocorrendo transferência seletiva de água através das membranas das células, provocada pela alta pressão osmótica da solução. Essa técnica é aplicada com o objetivo de se obter produtos com teor intermediário de umidade e, também, para melhorar suas propriedades organolépticas, minimizando o encolhimento e reduzindo o consumo de energia.

2.2.5.1. Secagem de banana

A banana madura é muito perecível e sujeita à rápida deterioração após a colheita. A secagem apenas com ar ou junto com a secagem ao sol é largamente utilizada para preservar essa fruta, além de agregar valor.

A produção de banana desidratada é um processo simples constituído pelas etapas de limpeza, seleção, descascamento, branqueamento (opcional), desidratação e embalagem. A desidratação é o estágio que demanda mais energia e é responsável pelas propriedades físicas e pelos atributos sensoriais do produto final.

Segundo Haber Pérez (1998), a incorporação do estudo de transferência de calor aos modelos de secagem constitui-se numa possibilidade de se avaliar com maior clareza os mecanismos responsáveis pela migração de umidade no interior dos sólidos. Este autor

estudou teoricamente o fenômeno de transferência de calor por difusão durante a secagem de banana do cultivar nanicão, para diferentes condições. Neste trabalho, constatou-se que o modelo difusivo para cilindro finito com difusividade variável representou muito bem o comportamento da temperatura no centro da banana durante o tempo total de secagem.

Chua *et al.* (2000) desidrataram fatias de banana em um secador de dois estágios capaz de controlar passo a passo tanto a temperatura quanto a umidade absoluta do ar de secagem. Foram testados dois perfis de temperatura com aumento gradual, e o incremento em cada passo sobre a temperatura média (30°C) foi de 5°C. Os autores observaram que, empregando-se essa técnica de secagem com a temperatura inicial e o tempo de ciclo apropriado, foi possível reduzir significativamente o tempo total de secagem necessário para alcançar o teor de umidade do produto desejável e, ainda, melhorar a sua cor.

Nguyen e Price (2007) também investigaram a influência da temperatura, umidade relativa e espessura da fatia de banana durante a secagem. A diferença nas taxas entre bananas de espessuras diferentes mostrou que a secagem desta fruta é função, principalmente, da transferência interna de umidade no período de taxa decrescente, no qual a difusividade da água dependeu da temperatura. A umidade inicial variava entre bananas de diferentes épocas de colheita. Uma diferença muito grande entre o teor de umidade inicial (acima de 5%) afetou fortemente as taxas de secagem, efeito que foi observado apenas à baixa temperatura (40°C).

Leite, Mancini e Borges (2007) estudaram o efeito da temperatura de secagem sobre a composição química, análise sensorial e qualidade microbiológica de bananas secas em uma câmara de ar forçado sob velocidade do ar constante. Os resultados mostraram que a secagem não afeta a composição química e os produtos obtidos apresentam boas condições sanitárias. A avaliação sensorial mostrou que baixas temperaturas de secagem produzem produtos de melhor aceitação e, nessas condições, a banana d'água apresentou uma textura superior à prata.

As mudanças nos componentes aromáticos da banana durante a sua maturação e a secagem convencional a ar quente foram analisadas por Boudhrioua *et al.* (2002), que identificaram doze compostos aromáticos, através de cromatografia gasosa, na fruta in natura. Destes, sete substâncias foram analisadas durante a secagem convectiva a 40, 60 e 80°C. Os autores sugeriram que nessa última temperatura, alguns produtos da reação de

Maillard foram desenvolvidos. Por outro lado, compostos como alguns álcoois reduziram-se drasticamente. Os autores concluíram que tais mudanças nos componentes aromáticos dependem do conteúdo de umidade da polpa e da temperatura de secagem.

Um estudo sobre o estágio final da secagem a ar quente e microondas de bananas também desidratadas osmoticamente foi realizado por Pereira, Marsaioli e Ahrne (2007). Os resultados indicaram que um aumento no potencial das microondas aumenta a taxa de secagem e, conseqüentemente, diminui o tempo de processamento. A temperatura e a velocidade do ar também apresentaram um efeito positivo sobre o tempo total. Já a qualidade do produto final não foi fortemente afetada por esses parâmetros do processo; não foram observados efeitos sobre a cor das bananas secas e sim alguns efeitos em relação à porosidade e o volume aparente das mesmas.

2.2.5.1.1. Banana crocante

A banana crocante encontrada atualmente no mercado paulista é um produto desidratado por liofilização.

Hofsetz (2003) estudou o processo de secagem de banana nanica para a obtenção de banana crocante utilizando o modo de operação *HTST*. Ela relatou que a medida sensorial da crocância apresentou valores de notas que tiveram uma relação direta com os resultados da medida instrumental de textura, sendo que essa última indicou a crocância dos produtos com atividade de água (a_w) entre 0,345 e 0,363. Foi verificado também que, para as temperaturas de 130 e 150° C, o aumento de tempo da etapa *HTST* provocou um aumento no número de picos entre o início da compressão e a deformação na força máxima no gráfico de força *versus* deformação, da análise instrumental de textura, o que é um dos fatores indicativos de crocância. Além disso, a diferença de fornecedor de matéria-prima foi um fator relevante no processo.

Cardoso (1998) desenvolveu um processo de secagem de banana prata em leito vibro-fluidizado visando à produção de bananas desidratadas com propriedades organolépticas e funcionais adequadas ao consumo na forma de *snacks*. A autora concluiu que a condição de secagem *HTST* apresentou uma correlação linear entre a perda de umidade e o tempo, sendo que a temperatura e a velocidade do ar não afetaram a sua cinética. Além disso, a

vibração acelerou a fluidização das fatias no leito, retardou o desenvolvimento de cor no produto e contribuiu decisivamente para a sua expansão, obtendo-se banana desidratada crocante de menor densidade do que aquela obtida sem vibração.

Demirel e Turhan (2003) agregaram valor à banana *Dwarf Cavendish* plantada na Turquia através da sua secagem a ar quente com a temperatura variando de 40°C a 70°C até a obtenção de banana crocante, comparando-a com a *Gros Michel* e observando o efeito de pré-tratamentos sobre o escurecimento da fruta. Os autores concluíram que as duas variedades não exibiram uma diferença qualitativa e quantitativa significativa durante a secagem, mas considerando as suas dimensões, a *Gros Michel* produziu *snacks* mais aceitáveis devido ao menor encolhimento. Nos ensaios em que as amostras foram pré-tratadas, a taxa de secagem elevou-se no intervalo de temperatura entre 40 e 60° C. O tratamento com bissulfito deixou um cheiro característico no produto final, apesar das amostras tratadas com essa substância terem secado mais rápido. A resistência interna à transferência de umidade controlou a secagem das amostras e esta ocorreu em dois períodos a taxas diferentes. Os pré-tratamentos dados a dois grupos de amostras, o primeiro mantido em uma mistura de 0,1% de ácido ascórbico/ ácido cítrico (1:1) durante um minuto, e o segundo mergulhado em uma solução de bissulfito de sódio (1%) por dois minutos, reduziram a taxa de secagem na temperatura de 70° C devido ao endurecimento e gelatinização do amido na superfície das fatias de banana.

Luccas (1996) desenvolveu um processo em leito fluidizado visando produzir bananas desidratadas com propriedades funcionais adequadas para o consumo na forma de *snacks*. Em seu estudo, foram utilizadas rodela de 1 cm de espessura seccionadas em quatro partes e submetidas a uma etapa de pré-secagem de *HTST*, seguida de uma desidratação final do produto expandido em um secador de bandejas. Ele obteve os melhores resultados com banana-prata apresentando 14 e 18 °Brix, imersas por dois minutos em uma suspensão de amido de mandioca gelatinizado (2%) à temperatura ambiente, e sujeitas à etapa *HTST* durante 12 minutos a 130 °C no secador de leito fluidizado. O produto final apresentou 6% de umidade, alto índice de reidratação, cor atraente, baixa densidade e crocância. Houve expansão do volume devido ao aumento da pressão interna, formando uma estrutura porosa (*puffing*), a qual foi medida através da variação da densidade e mostrou ser uma função da temperatura do ar na pré-secagem *HTST* e do estágio de maturação da banana.

Mais recentemente, Hofsetz *et al.* (2007) secou amostras de banana através de uma combinação de pulso a alta temperatura e secagem convencional à temperatura média (70°C), comparando-as a frutas secas sem o uso da técnica *HTST*. As três condições de pulso estudadas (130°C-23min, 140°C-15min e 150°C-12min) mostraram um comportamento semelhante nas mudanças de encolhimento e porosidade durante a desidratação. Os produtos secos por *HTST* apresentaram maior porosidade e menor encolhimento comparado com o produto seco apenas à média temperatura (ADP). No tratamento combinado, as bananas encolherem até 60% de seu volume original, e a suas porosidades em média aumentaram 56%, resultando na formação de uma estrutura altamente porosa. No ADP, o volume decresceu linearmente com o teor de umidade e a porosidade aumentou progressivamente alcançando um valor em torno de 30% ao final do processo. Os autores concluíram que o pulso *HTST* resultou na economia de 30% pelo menos do tempo total de secagem quando comparado ao ADP.

2.3. Atividade de água

Água é o fator mais importante que governa os processos de deterioração de alimentos, dentre os quais a microbiana é normalmente a mais rápida. Os métodos mais antigos usados para a conservação de alimentos, tais como concentração, secagem, defumação e infusão de sal e açúcar, dependem do princípio de redução de conteúdo de água. No entanto, não é somente o teor de água que determina a vida-de-prateleira de um produto alimentício, há também um outro fator que está relacionado com a disponibilidade da mesma para reações de decomposição (Berg, 1986, apud MACCARTHY, 1986).

O conteúdo de água de um alimento é freqüentemente expresso em termos de atividade de água, que é definida como a pressão parcial de vapor do material dividida pela pressão de vapor da água pura, sob a mesma temperatura.

A habilidade de crescimento dos microorganismos é reduzida quando a atividade de água diminui. Em geral, as bactérias requerem uma maior atividade de água ou teor de umidade para crescerem do que os fungos. No entanto, há um grande intervalo de a_w para o crescimento de todos os organismos. O limite mais baixo de a_w para deterioração de bactérias, leveduras e fungos é em torno de 0,90, 0,85-0,90, 0,80, respectivamente (SMITH,

2003). Entretanto, os organismos de maior importância na preservação de alimentos incluem muitos cujo crescimento pode ocorrer a níveis muito mais baixos de a_w . São os denominados halófilos, xerófilos e osmófilos. Os primeiros, que são geralmente bactérias, são incapazes de se desenvolver em meios sem cloreto de sódio e freqüentemente exigem altos teores dessa substância para seu desenvolvimento. Os xerofílicos, normalmente bolores e leveduras, se desenvolvem mais velozmente sob condições relativamente secas. E, por fim, os osmofílicos são capazes de crescer em ambientes de alta pressão osmótica e geralmente se referem a leveduras tolerantes ao açúcar. Todos estes microorganismos alteram alimentos com a_w entre 0,85 e 0,60, tais como farinhas, cereais e vegetais desidratados. Em alimentos com a_w inferior a 0,60, os microorganismos não se multiplicam embora possam seguir sendo viáveis por muito tempo (UFRJ, 2007; UNIJUI, 2007).

De acordo com Berg (1986), citado por MacCarthy (1986), a atividade de água constitui-se no único parâmetro que pode ser usado como um guia confiável para prever a degradação de alimentos ou para determinar o ponto final da secagem necessário para garantir um produto estável. Dois métodos são geralmente utilizados para a medida da atividade de água: métodos gravimétricos e manométricos (ou higrométricos). Os primeiros envolvem medidas da amostra após atingir o equilíbrio, enquanto que nos últimos, as medidas são tomadas pela atmosfera em equilíbrio com a amostra. Os métodos gravimétricos são geralmente mais precisos, mas demandam mais tempo, comparados com os manométricos.

2.4. Textura de alimentos

Textura é um dos três principais atributos de aceitação de alimentos junto com aparência e sabor, os quais fornecem prazer em comer e leva o consumidor a decidir se comprará ou não o produto novamente (BOURNE, 2004). A definição de textura sempre gerou discussões na comunidade científica, porém atualmente há um consenso de que ela é um atributo sensorial, ou seja, é sentido e medido por pessoas.

No fim do século XIX e início do XX, o estudo das propriedades de textura envolvia a construção de simples instrumentos de testes a serem seguidos por uma pesquisa analítica bioquímica e algumas análises sensoriais rudimentares. Esse estudo se preocupava

primariamente com a eliminação de defeitos. No início, havia muita confusão até mesmo na definição de textura, já que cada grupo de alimentos tinha a sua própria definição. Apenas no fim dos anos 50 a textura passou a ser vista como uma disciplina. Atualmente, esse campo apresenta certa estrutura, alguns princípios foram desenvolvidos e, acima de tudo, a textura tem sido vista não tanto pela falta de defeitos, mas sim como um atributo positivo de qualidade denotando frescor de produção, excelência na preparação do alimento e contribuindo para o prazer de comer (SZCZESNIAK, 2002). Segundo esta autora, uma concordância geral foi alcançada quanto à definição de textura, a qual provém dos esforços de diversos pesquisadores. Ela afirma que “textura é a manifestação sensorial e funcional das propriedades estruturais, mecânicas e de superfície detectadas através dos sentidos da visão, audição, tato e sinestésicos”. Esta definição traz conceitos importantes como: 1) textura é uma propriedade sensorial, e por isso só o ser humano pode percebê-la. Os instrumentos podem detectar e quantificar apenas alguns parâmetros físicos que devem ser interpretados em termos de percepção sensorial; 2) textura é um parâmetro de atributos múltiplos; 3) deriva da estrutura dos alimentos (molecular, microscópica e macroscópica) e; 4) é detectada por vários sentidos, principalmente o tato.

As propriedades de textura de um alimento compõem um grupo de propriedades físicas que derivam da estrutura de elementos e estão relacionadas à deformação, desintegração e fluxo do alimento sob uma força, e são medidas objetivamente em termos de massa, tempo e distância (BOURNE, 2004).

De acordo com Clydesdale (1991), medidas quantitativas da importância relativa da textura em categorias específicas de alimentos devem ser desenvolvidas e relacionadas ao produto. Intuitivamente, e baseando-se nos dados limitados disponíveis, o autor assume que a importância da textura na avaliação da qualidade geral de um alimento irá variar dependendo do seu nível de aceitação. Quando a textura é pobre e defeituosa, seu efeito sobre a qualidade geral será bastante expressivo, especialmente em produtos crocantes. Como a textura constitui um atributo valioso, afetando a percepção e preferência do consumidor, as pontuações de qualidade deveriam refletir isso com o grau exato da importância da textura e os parâmetros específicos envolvidos precisam ser definidos para cada produto específico.

A percepção da textura é um processo complexo envolvendo uma síntese de informações de vários sentidos e é obtida com o tempo. Além disso, a estrutura do alimento, que é percebida pelo consumidor, é alterada durante o processo oral, o que está sujeito à variação considerável entre indivíduos. A percepção da textura ocorre parcialmente durante o dinâmico processo de quebra do alimento na boca e é afetado por processos orais tais como motilidade, produção de saliva e temperatura. Para levar em conta esses fatores, um método multidisciplinar foi proposto para estudar a relação entre a estrutura do alimento e a percepção da textura, combinando pesquisa sensorial, estudos fisiológicos e pesquisa sobre características físico-químicas do alimento (WILKINSON; DIJKSTERHUIS; MINEKUS, 2000).

A textura é um atributo de qualidade importante para os alimentos de origem vegetal. A parede celular de plantas constitui uma peça-chave para determinar as características de textura em frutas e hortaliças, pois suas propriedades influenciam no modo pelo qual o tecido vegetal sofre deformação mecânica e ruptura durante a mastigação. Processos como cozimento e eventos fisiológicos como a maturação podem reduzir a força de adesão celular em muitos produtos através da despolimerização de pectina, o que não é interessante, já que a separação celular contribui para o amolecimento, perda de suculência e desenvolvimento da sensação de farinhamento (WALDRON *et. al.*, 1997).

No contexto industrial, o juiz mais importante da textura de alimentos é o consumidor, o qual é a melhor fonte de informação em relação à aceitabilidade ou gosto da textura de um produto. No entanto, um consumidor pode não ser capaz de dar informação detalhada de vários componentes de textura (BORWANKAR, 1990).

Existem inúmeros instrumentos de medição de força disponíveis, o mais utilizado é o analisador de textura TAXT2, o qual mede a força e as propriedades de textura de produtos alimentícios, através da deformação dos mesmos em várias maneiras e da medição da força necessária para alcançar a deformação (SHARMA; MULVANEY; RIZVI, 2000).

Wilkinson, Dijksterhuis e Minekus (2000) afirmam que os instrumentos de medição de textura podem ser classificados de diversas maneiras. Uma das mais antigas classificações é a de Scott-Blair, em 1958, em: testes fundamentais, empíricos e imitativos. Apesar dos dois primeiros métodos serem simples, as medidas não são bem definidas e estudos usando essas técnicas geralmente não têm alta correlação com as medidas sensoriais de textura.

Segundo Bourne, 1978, citado por Wilkinson, Dijksterhuis e Minekus (2000), a vantagem significativa das técnicas imitativas, nas quais a medida imita as ações dos dentes e mandíbulas, é que elas se correlacionam bem com a situação real.

Segundo Szczesniak (2002), os fatores que afetam a avaliação da textura de um alimento podem ser divididos em três: os que residem nos consumidores, nos alimentos e na circunstância. O fator primário associado ao consumidor é a idade, especialmente os dois extremos: bebês e crianças pequenas e a população geriátrica. Todos esses fatores são de particular interesse para a indústria, sendo importante ser considerada a imagem que o produto pretende passar. Por exemplo, um produto a ser consumido como um *snack* em situações que lembram atividade, energia e agressividade, deve ser firme e crocante.

Quanto à tolerância da textura, em alguns produtos como queijo cottage, ela pode ser bem grande, enquanto que com outros produtos como batata frita, essa tolerância pode ser pequena. Em geral, produtos que são valorizados pela sua crocância estão associados a uma estreita variação de tolerância na textura (SZCZESNIAK, 2002).

Ainda a mesma autora salienta que as características de textura mais e menos apreciadas dependem primariamente de fatores fisiológicos que são comuns a todos e em fatores culturais. Todas elas parecem ter conotações específicas. Liderando a lista das características mais apreciadas nos EUA estão a crocância e o termo *crunchiness*, os quais levam ao consumidor a comer mais. Normalmente, as menos apreciadas são aquelas que fazem o produto difícil de ser controlado e manipulado na boca.

Wilkinson, Dijksterhuis e Minekus (2000) realizaram testes de compressão de maçã, banana, cenoura e batata sob força constante. O efeito do teor de umidade sobre os parâmetros elásticos, a tensão e a deformação máxima, também foi investigado. A tensão máxima apresentou um mínimo quando a proporção era de 1,8 kg de água para cada kg de matéria seca, enquanto que a deformação máxima aumentou com a redução do teor de umidade. Então, os autores concluíram que até 1,8 kg de água/kg matéria seca, a desidratação causa um amolecimento da parede celular resultando numa redução da tensão máxima. E abaixo desse valor, ocorrem sérios danos que a aumentam, possivelmente devido às mudanças físico-químicas irreversíveis, tais como o aumento da cristalinidade.

2.4.1. Crocância

Crocância é um atributo complexo resultante de um lado das múltiplas sensações, e por outro lado pelos diversos parâmetros físicos, combinando processos moleculares, estruturais e de fabricação, assim como condições de armazenamento (ROUDAUT *et. al.*, 2002). A crocância parece ser uma das características de textura mais versátil em diversos alimentos. Durante anos, muitos pesquisadores trabalharam em várias técnicas para caracterizar e defini-la (ANTONOVA; MALLIKARJUNAN; DUNCAN, 2003).

De acordo com Luyten, Plijter e Vliet (2004), para muitos produtos alimentícios a característica de crocância é um atributo sensorial importante sobre o qual o consumidor baseia sua apreciação. Não existe um conhecimento exato dessa característica sensorial, mas há consenso geral de que a sensação de crocância se relaciona às propriedades de ruptura dos materiais. Em geral, alimentos crocantes são difíceis de se deformar, mas se quebram relativamente fácil produzindo um som agudo.

Há um interesse especial na determinação instrumental da crocância, já que este atributo fornece um estudo mais barato e conveniente comparando-se à análise sensorial, mesmo que medidas instrumentais não sejam capazes de prover toda a informação obtida por um painel sensorial. Este método torna-se ainda mais complicado pelas diferenças entre as linguagens, o que dificulta a disseminação científica internacional. De fato, uma palavra que descreva um atributo pode ter um significado específico em determinado idioma e abranger um vasto conjunto de sentidos em outra língua (PARMIES *et al.*, 2000).

Crocância e o termo inglês *crunchiness* são conceitos muito complexos, que combinam uma larga variedade de percepções, como sons, características de fratura, densidade e geometria. Isso pode explicar a dificuldade encontrada pelos consumidores e pesquisadores ao tentarem definir e medir essas sensações (FILLION; KILCAST, 2002). Os mesmos autores realizaram um estudo com o objetivo de melhor entender a terminologia dos consumidores relevante às características de textura de frutas e hortaliças, com especial ênfase nos termos ingleses “*crispy*” e “*crunchy*”; além disso, eles estabeleceram uma relação entre as denominações usadas por painéis treinados e consumidores comuns. As percepções sensoriais expressas pela equipe treinada se correlacionaram bem com a terminologia dos consumidores, o que valida os métodos de perfil de textura sensorial como

um meio de medida desses conceitos. Eles também definiram os termos “*crispy*” como sendo referente a uma textura fina e leve, produzindo uma quebra limpa e aguda com um som de alta intensidade, sob a aplicação de uma força, principalmente durante a primeira mordida com o dente da frente. Ao contrário, “*crunchy*” estaria associado com uma textura densa e dura que se fratura sem deformação prévia, produzindo um som de alta frequência e de baixa intensidade, que é repetido durante várias mastigadas. Esse último termo é mais relevante para frutas e hortaliças que o primeiro e ambos os atributos podem de fato representar o mesmo grau de dureza, sendo a escolha do termo dependente do nível de intensidade considerada.

Originalmente, as medidas de crocância eram executadas em instrumentos desenvolvidos para a ciência dos materiais, os quais forneciam parâmetros físicos com significância fundamental em termos de propriedades reológicas. Esses parâmetros não dão a medida direta da crocância, mas podem ser usados como indicadores que podem ser validados pelos dados sensoriais. Como a crocância apresenta um componente detectado pelo sentido da audição, alguns métodos desenvolvidos para estudar essa propriedade têm se focado nos sons gerados na fratura, sendo estes gravados durante a mastigação ou na quebra instrumental. O método instrumental, utilizando, por exemplo, um analisador de textura, é preferido, pois todos os aspectos da fratura são controlados. Porém, os sons gravados durante a mastigação são mais representativos dos estímulos auditivos relacionados à crocância, principalmente quando vibrações conduzidas no ar e nos ossos são gravadas e analisadas juntas. Outro campo promissor é a medida da textura dentro da boca, a qual permite rastrear as mudanças na textura dos produtos durante o processo todo de mastigação. Este aspecto temporal é especialmente importante para produtos secos crocantes devido à hidratação dos mesmos pela saliva (ROUDAUT *et. al.*, 2002).

Se um produto crocante não produz o som esperado quando mordido, então ele é considerado de baixa qualidade ou foi produzido usando ingredientes e processo inapropriados. Medidas acústicas são importantes para entender a textura de alimentos. Através de uma combinação de métodos instrumentais e acústicos, tem sido possível entender melhor a sensação de crocância. Com esse conhecimento, o foco da pesquisa sobre textura deve ser direcionado no sentido de entender qual contribuição os componentes estruturais dos produtos têm para a textura dos mesmos (DUIZER, 2001).

Luyten e Vliet (2006) descreveram propriedades sonoras especiais para produtos crocantes e as relacionaram ao conhecimento geral de emissão acústica e propriedades mecânicas de fratura de materiais. Foi possível calcular as restrições morfológicas para alimentos celulares secos e crocantes.

Antonova, Mallikarjunan e Duncan (2003) realizaram um estudo para determinar parâmetros ultrasônicos e propriedades mecânicas, e investigar a relação entre parâmetros instrumentais e crocância sensorial para *nuggets* de frango. Esta relação sugeriu que o método ultrasônico pode ser usado para medir e explicar a crocância sensorial nesses produtos, já que ela pode ser razoavelmente prevista pela velocidade ultrasônica.

Segundo Katz e Labuza (1981), a água afeta a textura de alimentos secos do tipo *snack* por funcionar como plastificante e amaciante da matriz amido/proteína, que altera a força mecânica do produto. Eles estudaram o efeito da (a_w) sobre a crocância sensorial e a deformação mecânica desses produtos. Quando a a_w aumentou, a aceitabilidade sensorial reduziu. Produtos com a_w entre 0,35-0,50 mostraram-se inaceitáveis sensorialmente, que é o mesmo intervalo no qual ocorrem transformações do estado amorfo para o cristalino em sistemas de açúcares simples, ocorrendo mobilização de constituintes solúveis. A análise sensorial mostrou ser melhor determinante do grau de intensidade da crocância comparada à análise mecânica.

O teor de umidade desempenha um papel significativo sobre a textura de *snacks* prontos para o consumo, já que afeta diretamente o comportamento crocante, fator chave relacionado à aceitação do produto (MAZUMDER; ROOPA; BHATTACHARYA, 2007).

Duizer e Winger (2006) avaliaram o uso de um equipamento para medir a força de uma mordida gerada com *snacks* crocantes à base de milho obtidos por extrusão. A força máxima e a deformação foram significativamente relacionadas à dureza, fragilidade e crocância e a relação entre crocância sensorial de produtos extrusados e a dureza foi medida intra-oralmente. Eles concluíram que à medida que as forças de mordidas intra-orais aumentaram, a dureza também aumentou enquanto que a crocância e a fragilidade reduziram-se. Apesar de existir uma relação entre força e crocância, esse método de medição intra-oral deve ser combinado com medidas sonoras em uma análise de regressão linear para avaliar a relação entre força e medidas acústicas e a percepção de crocância.

Parmies *et al.* (2000) realizaram medidas instrumentais e sensoriais e de textura de produtos de extrusão com alto teor de amido. As primeiras medidas foram feitas através da análise de fractais e de picos. Os dados obtidos mostraram correlações entre crocância sensorial e ruptura, sugerindo que a análise de fractais dos gráficos de força-deformação pode ser usada no lugar da análise sensorial. Além disso, observou-se neste trabalho que um aumento na atividade de água altera a textura dos produtos passando de crocantes para quebradiços, enquanto que a textura de amostras com amido e sacarose permaneceu inalterada no mesmo intervalo de hidratação, informação importante para futuros estudos de mudança de textura desses produtos em função do seu conteúdo de açúcar.

Mazumder, Roopa e Bhattacharya (2007) realizaram testes de compressão uniaxial em um *snack* de milho de baixa densidade pronto para consumo, obtendo curvas características como função da deformação, e aparentemente mostrando a presença de três zonas. Os autores apontam que um bom indicador do comportamento crocante de uma amostra é o número de picos principais, os quais são sensíveis ao teor de umidade da amostra principalmente quando este é maior que 4%. Observações micro-estruturais indicaram a presença de células de ar separadas por finas paredes celulares.

As análises instrumentais e sensoriais da textura e cor de batatas *chips* comerciais foram comparadas por Segnini, Dejmek e Oeste (1999). Os atributos sensoriais foram divididos em dois principais grupos ou fatores tanto para a cor quanto para a textura. Os últimos foram classificados em dureza, *crunchiness* e mastigabilidade (fator 1), e maciez (fator 2), tendo todos sido altamente correlacionados com a força de ruptura. Em relação à cor, os principais atributos sensoriais foram “cor amarelada” e “aspecto queimado”, agrupados no fator 1 e, “aspecto de cor de açúcar” e transparência (fator 2), os quais foram também altamente correlacionados com o parâmetro de cor L^* . Esses resultados mostraram que as técnicas instrumentais de medidas de textura e cor podem ser utilizadas para estimar os atributos sensoriais de batata *chips*, oferecendo a possibilidade de prever a qualidade das mesmas durante o processamento.

Hofsetz (2003) caracterizou a crocância de abacaxi, banana e maçã liofilizados disponíveis no mercado paulista, através de medidas instrumentais de textura e análise sensorial. A atividade de água de todas as amostras de abacaxi foi acima de 0,300, sendo que 84% das amostras, com a_w inferior a 0,320, foram apontadas como um produto seco e

crocante por ambas as análises instrumental e sensorial. Para a banana e a maçã comerciais obtidas por liofilização, a a_w foi inferior a 0,300, indicando produtos secos e crocantes. Essas características foram comprovadas instrumental e sensorialmente na banana. Já a maçã apresentou um comportamento plástico através da determinação instrumental, mas a análise sensorial de sua textura indicou o produto como crocante.

2.5. Cor em alimentos

A cor surge da presença de luz em maiores intensidades em certos comprimentos de onda do que em outros. Na prática, ela é limitada ao intervalo do espectro de 380 a 770 nm, parte do espectro eletromagnético que é visível ao olho humano. A cor em alimentos pode ser expressa em termos de unidades internacionalmente aceitas, dado que as medidas não são complicadas por fatores de aparência tais como brilho, coloração e textura. Cor é uma propriedade de aparência relacionada à distribuição espectral da luz; brilho, transparência, nebulosidade e turbidez são propriedades de materiais que se referem à maneira geométrica na qual a luz é refletida e transmitida (POMERANZ; MELOAN, 2000).

A cor pode ser definida como a percepção resultante da interação entre a fonte de luz, o objeto, o olho e o cérebro. A percepção de cor envolve física, fisiologia e psicologia (AURAND; WOODS; WELLS, 1987).

Segundo MacDougall (2002), como cor é um fenômeno psicológico, sua medida deve ser baseada na percepção humana. Então, instrumentos fotoelétricos são corrigidos para iluminação e resposta visual humana, enquanto que técnicas visuais têm que usar observadores com visão normal de cor sob uma luminosidade definida. Exemplos de avaliação visual direta são catálogos de cores para uma definição mais ampla da locação das cores no espaço, conjuntos de papéis coloridos impressos ou pintados para produtos ou processos e instrumentos visuais de combinação que usam filtros coloridos.

O termo luminosidade ou valor se refere à relação entre luz absorvida e refletida, sem considerar o comprimento de onda específico. *Hue* (coloração) é o aspecto da cor que descrevemos como verde, azul, amarelo ou vermelho. Essa percepção de cor resulta das diferenças em absorção ou energia radiante a vários comprimentos de onda. O termo *chroma* (também chamado de saturação ou pureza) se refere à reflexão de um certo

comprimento de onda e indica o quanto determinada cor se difere do cinza. Resumindo, valor distingue entre cores claras e escuras; coloração distingue entre vermelho, amarelo, verde e azul; e *chroma* distingue entre cores vivas e fracas (POMERANZ; MELOAN, 2000).

Na primeira impressão como consumidores, julgamos um produto alimentício pela sua aparência e, o atributo mais relevante para a aceitação do mesmo é sua cor, mesmo que ela não reflita os valores nutricionais, o sabor ou propriedades funcionais. Resumido, a cor acaba por funcionar como um bom critério de qualidade, ocupando uma posição proeminente e indicando vários tipos de deterioração.

Segundo Clydesdale (1991), a cor de certo produto afeta o julgamento dos consumidores sobre outras características como sabor doce e salgado, além de ser capaz de prever atributos de qualidade não sensoriais como o conteúdo de umidade e de pigmentos.

A cor dos alimentos é dependente das circunstâncias sob as quais eles são vistos e da habilidade do material em refletir, dispersar, absorver ou transmitir a luz visível. Em sua forma “in natura”, os alimentos são brilhantemente coloridos. A secagem altera as propriedades físicas e químicas e pode-se esperar que se alterem também suas habilidades em refletir, absorver e transmitir a luz, portanto, modificando a cor dos alimentos (DESROSIER; DESROSIER, 1997).

Em relação a espaço e tempo, de acordo com MacKinney e Little (1962), a cor pode variar consideravelmente conforme o lugar e a estação do ano. A aceitação dessa variação pelo consumidor depende da idéia de como ele acredita que o alimento deve se apresentar e, conseqüentemente, é estabelecida uma preferência de cor a qual é determinada pelos costumes e hábitos que estão longe de serem uniformes. Quanto à avaliação de um alimento pela sua cor, normalmente ela fornece informação confiável mais rapidamente do que qualquer outro método, podendo ser uma medida correta do valor econômico de certo produto.

De fato, associamos uma cor em particular com quase todo alimento que entramos em contato em nossa vida diária. Assim, ela é um fator significativo para a aceitação pelo consumidor, e o mesmo automaticamente associa certas características de cor com frescor e a idéia de alimento saudável (AURAND; WOODS; WELLS, 1987).

Cor também é importante para o controle de qualidade por muitas outras razões: primeiro pela padronização do produto, depois pelo seu uso como uma medida de valor econômico, podendo determinar o preço do produto. A cor também prediz outras características de qualidade tais como o sabor em produtos crus, sendo mais fácil de ser medida. Por último, a cor também pode ser usada para medir tanto pigmentos naturais quanto corantes adicionados. Em ambos os casos, o objetivo final será aumentar e ou melhorar a cor do produto através da formulação, práticas agrícolas, processamento, e ou estocagem (CLYDESDALE, 1991). Em seu trabalho, esse autor concluiu que a medida da cor pode ser um recurso valioso no estabelecimento de sistemas de medidas da qualidade, e não apenas da aparência do produto, podendo ser aplicada para quase todos os alimentos.

A cor é frequentemente usada para determinar o estado de maturação de uma fruta. A cor de batata *chips*, por exemplo, é fortemente controlada pelo conteúdo de açúcares redutores, pelas condições de estocagem e pelo processamento subsequente. A cor amarela da gema de ovo, por exemplo, é função direta da quantidade dos pigmentos presentes (POMERANZ; MELOAN, 2000).

A cor de frutas secas ao sol é provavelmente superior àquelas desidratadas artificialmente, ambas sob condições ótimas de operação. O desenvolvimento de cor em certas frutas verdes continua vagarosamente durante a secagem natural, o que não ocorre durante a desidratação (DESROSIER; DESROSIER, 1997).

De acordo com Tsami e Katsioti (2000), a cor dos alimentos tem uma grande importância para a aceitabilidade de um produto desidratado, já que ela está relacionada com o sabor e aroma do mesmo. As frutas secas, por exemplo, exibem uma reação intensa de escurecimento durante a secagem a ar quente.

As reações de escurecimento de Maillard provocam mudanças na aparência do produto, principalmente na cor; produção de *flavor* ou *off-flavor* devido a compostos voláteis e substâncias doces ou amargas, assim como efeitos sobre a textura; redução do valor nutricional pelo envolvimento de ácido ascórbico e lisina nas reações; aumento da a_w devido à produção de água. O escurecimento varia com a a_w , sendo máximo normalmente a valores intermediários entre 0,5-0,8. Os processos de concentração e secagem de alimentos apresentam problemas quanto ao escurecimento já que o produto passa por valores intermediários de a_w (NURSTEN, 1986, In: MACCARTHY, 1986).

Um dos avanços em instrumentação mais significativo foi a mudança da medida visual de cor para a elétrica. Isso foi alcançado pelo uso de células fotoelétricas para medir a intensidade da luz transmitida através de uma solução. O método usado para medir cor de uma amostra de um produto é combinar a cor através da construção da sombra apropriada usando conjuntos de slides de cores primárias, vermelho, amarelo e azul (LEES, 1971).

Os instrumentos de medição de cor podem ser convenientemente classificados em: colorímetros visuais, comparadores, espectrofotômetros e colorímetros fotoelétricos de três estímulos, entre outros aparelhos (MACKINNEY; LITTLE, 1962). Filtros ópticos alteráveis fazem parte do design dos colorímetros. Eles são construídos em vidros coloridos e em folhas de gelatina impregnadas com tinta. Os primeiros são mais adequados devido à alta resistência a danos. O filtro mais adequado é aquele que permite a máxima transmissão dada uma concentração ou cor (LEES, 1971).

O sistema de medida de cor padrão descrito por Pomeranz e Melan (2000) e contra o qual outros sistemas devem ser comparados é aquele proposto por CIE em 1931. O sistema CIE especifica a cor em 3 quantidades – X, Y, e Z – chamadas de valores tri-estímulo, os quais representam as quantias de três cores primárias – vermelho, verde e violeta. Se cada um dos valores for dividido pela soma dos três, os valores resultantes x , y e z , denominados de coordenadas de cromaticidade, dão a proporção do total de estímulo referente a cada primário. Como a soma dos três é a unidade, os valores x e y sozinhos podem ser usados para descrever a cor. Um gráfico de duas dimensões x versus y forma um diagrama de cromaticidade. A terceira dimensão, denominada de luminosidade ou escuridão, é definida pelo valor Z tri-estímulo.

Os espaços de cores uniformes de importância prática são o Hunter (1958), CIELUV e CIELAB. No primeiro, L , a e b compõem o espaço. A coordenada de luminosidade L é a raiz quadrada do valor do tri-estímulo Y , e a e b são as coordenadas opostas vermelho/verde e amarelo/azul. Os espaços CIELUV e CIELAB (Robertson, 1977, apud MACDOUGALL, 2002), são uma tentativa de redução das muitas escalas em uso para apenas duas. As coordenadas de luminosidade L é a mesma para ambos, porém os espaços utilizam conceitos distintos nas suas construções. O CIELAB tem substituído o Hunter em aplicações industriais (MACDOUGALL, 2002).

O colorímetro fotoelétrico de três estímulos desenvolvido por Hunter (1952) é relativamente barato, simples e bem adaptado a testes de rotina. O instrumento consiste em três circuitos separados, filtros e fotocélulas. O valor “a” denota a coloração vermelha ou verde. O valor “b” de Hunter mede o amarelo ou o azul. O valor “a” é função de X e Y, e o valor “b” é função de Z e Y (POMERANZ; MELOAN, 2000).

Medlicott *et al.* (1992) realizaram estudos comparativos entre métodos de avaliação de cor da casca de banana e manga, e também estudaram a relação entre a mudança de cor dessas frutas durante a maturação, assim como a alteração de alguns atributos químicos e físicos da polpa das mesmas. Eles verificaram que as análises visuais da casca em relação às medidas colorimétricas indicaram que as primeiras podem ser usadas como um método aceitável para determinar o grau de maturação das frutas. Porém, as bananas mostraram um desenvolvimento da cor na sua superfície, de verde a amarelo, mais uniforme que a manga. A mudança de cor resultou da perda de clorofila que mascara a cor dos pigmentos carotenóides. Além disso, a conversão do amido para açúcar segue o mesmo ritmo, sendo que a concentração máxima do segundo se dá com o completo desenvolvimento da cor, quando também se inicia o amolecimento da polpa.

Mendoza e Aguilera (2004) implementaram um sistema visual de computador padronizado para caracterizar quantitativamente as mudanças de cor durante a maturação da banana usando os parâmetros a, b e L. Utilizando uma técnica de análise discriminante simples como critério de classificação, foi possível identificar 49 bananas nos seus sete estágios de maturação com 98% de precisão. Esse método mostrou ser mais versátil, consistente, eficiente e econômico para a identificação dos estádios de maturação da banana, em relação às técnicas instrumentais correntes. A capacidade de reprodução de imagem permitiu a identificação e quantificação da aparência e defeitos sem destruir as amostras. A visão computacional mostrou ser promissora no campo de previsão “*on line*” dos estágios de maturação de frutas. O tempo de segmentação e extração de características das imagens foi de aproximadamente 1,5 minuto utilizando-se um Pentium III. Os resultados de classificação usando o programa *Statgraphics* foram obtidos instantaneamente.

De acordo com Chua *et al.* (2000), uma via em potencial para minimizar a degradação da qualidade da cor de produtos alimentícios durante a secagem é o emprego de perfis de

temperatura, variando com o tempo, que reduzem essa degradação, secando os produtos até o teor de umidade desejado durante um tempo de produção permissível. Estes autores examinaram experimentalmente a possibilidade de minimizar a perda da cor dos produtos desidratados através da seleção de perfis de temperatura do ar de secagem. Assim, submetendo-se os produtos a diferentes perfis no secador, foi possível reduzir a alteração dos valores dos parâmetros individuais de cor, assim como a mudança total de cor nos produtos. Eles concluíram que produtos com alta concentração de açúcar, como a banana, são favorecidos por um perfil senoidal com uma temperatura inicial de 30°C. Já para produtos com alto teor de umidade e baixo teor de açúcar, como a batata, permite-se o uso de perfis de temperaturas mais altas para produzir maiores taxas sem nenhuma mudança pronunciada na cor total. O percentual total de redução na mudança de cor para banana foi de 67%.

Krokida, Tsami e Maroulis (1998) também investigaram o efeito da temperatura e umidade do ar sobre as mudanças de cor em maçã, banana, cenoura e batata durante a secagem a ar quente e a vácuo. O parâmetro L mostrou ser praticamente independente das condições e do método de secagem, para todos os produtos. Já os parâmetros “a” e “b” seguiram uma cinética de primeira ordem, mostrando-se dependentes tanto da temperatura quanto da umidade do ar durante o processo.

Krokida, Karathanos e Maroulis (2000) estudaram o efeito do pré-tratamento osmótico na conservação da cor de maçã e banana. As amostras pré-tratadas mantiveram suas cores intactas durante a secagem com ar, mas aquelas que não foram tratadas escureceram significativamente. A conservação da cor das primeiras pode ser vista pela quase constância de valores dos parâmetros de Hunter L, a e b, apresentando apenas um pequeno aumento.

A cor e a textura são muito importantes para a qualidade da banana e seus produtos. Dessa forma, Chen e Ramaswamy (2002) investigaram a cinética de ambos os atributos juntos de bananas em amadurecimento como função da temperatura de estocagem (10, 16, 22, 28°C). Os autores obtiveram altas correlações lineares entre textura e cor e, a dependência da temperatura de estocagem para todos os parâmetros cinéticos de ambos os atributos seguiram o modelo de Arrhenius.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Esta pesquisa foi desenvolvida na Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), nos laboratórios da Faculdade de Engenharia de Alimentos.

O trabalho foi dividido em cinco etapas conforme abaixo:

I) Análise do teor de sólidos solúveis (°Brix) de banana nanica, em diversos estádios de maturação, para a definição de três intervalos de leitura deste parâmetro;

II) Testes preliminares da secagem HTST para a determinação da temperatura e do tempo desta etapa;

III) Novos testes do processo completo de secagem, incluindo a etapa à temperatura intermediária (70°C), com a fase HTST já definida, para a verificação do ponto final da operação a fim de garantir um produto com $a_w < 0,3$;

IV) Experimento realizado nas condições determinadas, em duplicata, totalizando 10 ensaios;

V) Análise dos dados obtidos e aplicação de testes estatísticos para obtenção dos resultados.

3.1. MATERIAL

3.1.1. Matéria-prima

A matéria-prima utilizada neste estudo foi a banana nanica (*Musa acuminata* Colla subgrupo *Cavendish*) adquirida de dois fornecedores distintos, ainda verdes (estádio 2 ou 3 na escala de cores da casca, de acordo com a Tabela 2.2 – MEDINA *et. al.*, 1978).

3.1.1.1. Fornecedores e armazenamento

A banana nanica foi comprada em dois locais diferentes, possibilitando o uso de uma mesma variedade, porém de origens distintas.

O primeiro fornecedor foi o CEASA da cidade de Campinas, que fornecia caixas de 20 kg de banana proveniente da cidade de Registro (SP). Até que fossem retiradas e levadas para a UNICAMP, as frutas eram armazenadas em câmaras de refrigeração a 17°C e submetidas ao gás etileno com a finalidade de acelerar a respiração celular e, conseqüentemente, o processo de maturação. Após serem trazidas do CEASA, estas bananas permaneciam em uma câmara no Laboratório de Refrigeração do Departamento de Engenharia de Alimentos (DEA), mantidas também a 17°C até a utilização no experimento, pois devido ao gás etileno, essas frutas amadureciam rapidamente.

A segunda origem da banana nanica foi do município de Eldorado (SP), de onde as frutas eram trazidas diretamente para a UNICAMP. Nessa região, as bananeiras não cresceram sob adubação, e nem os cachos colhidos foram submetidas ao etileno. Estas bananas de Eldorado eram mantidas sob a temperatura de 25°C no Laboratório de Tecnologias Apropriadas (DEA) até o seu aproveitamento, já que, ao contrário do primeiro caso, o processo de maturação era bastante lento.

3.1.2. Equipamento de secagem

O secador utilizado foi montado no Laboratório de Tecnologias Apropriadas (DEA). Este equipamento é caracterizado por apresentar uma coluna vertical de aproximadamente 60 cm de altura e 17 cm de diâmetro, de fluxo ascendente de ar, com capacidade para duas bandejas redondas vazadas em alumínio de 15 cm de diâmetro, sendo uma colocada na gaveta inferior da coluna de secagem e outra na superior. A primeira foi completada com um leito de cascalhos e telas finas de alumínio a fim de uniformizar a distribuição do ar antes deste passar pela bandeja superior com as amostras.

Para melhor compreensão do funcionamento deste equipamento, a seguir é apresentado um desenho esquemático (Figura 3.1). O ar ambiente é sugado por um soprador centrífugo de 2HP, cuja vazão é ajustada através de uma válvula gaveta. O soprador está conectado a um bloco de resistências que aquece o ar, o qual flui verticalmente através da coluna de secagem e sua velocidade pode variar de 0,4 a 12m/s, dependendo da abertura da válvula. A temperatura do ar no interior da coluna, logo abaixo da bandeja contendo as amostras, é

medida por um termopar conectado a um controlador PID e o ar aquecido é descartado para a atmosfera.

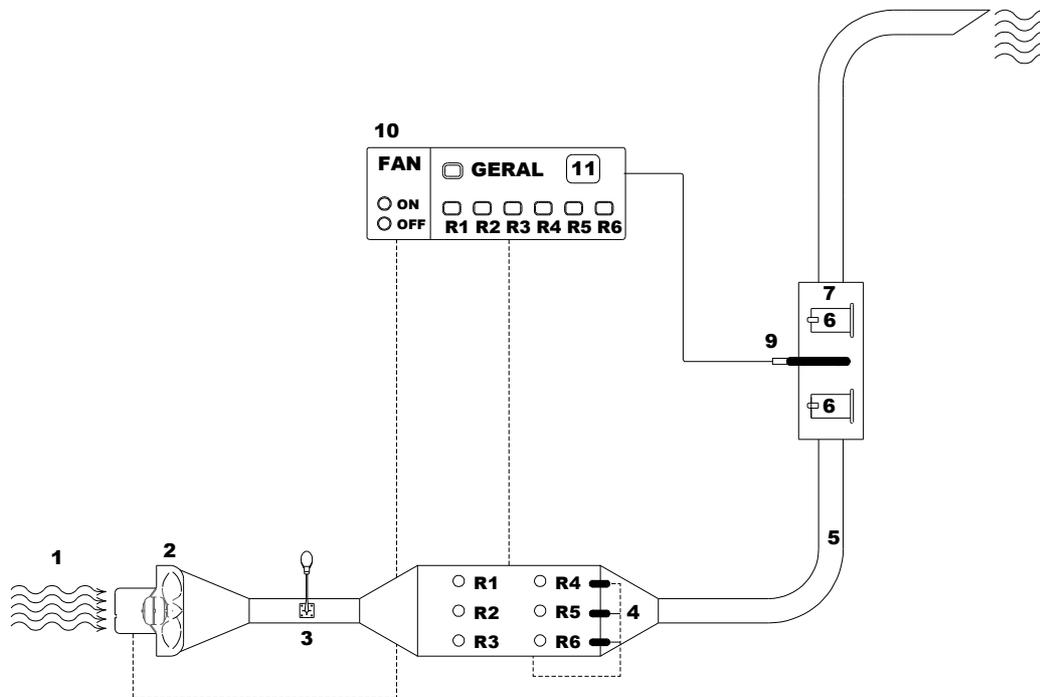


Figura 3.1: Desenho esquemático do equipamento de secagem.

Neste esquema, tem-se que:

- 1 = entrada do ar de secagem
- 2 = soprador
- 3 = válvula gaveta para ajuste da vazão de ar
- 4 = bloco de resistências de aquecimento
- 5 = coluna circular de secagem
- 6 = gavetas para as 2 bandejas
- 7 = coluna de secagem
- 8 = saída do ar de secagem

- 9 = termopar
- 10 = painel de controle
- 11 = controlador PID

3.1.3. Anemômetro

Para medir a velocidade do ar dentro da coluna do secador e ajustá-la para um valor tal que os pedaços de banana na bandeja não fluidizassem e simultaneamente ocorresse o *puffing* dos mesmos, usou-se um anemômetro da marca VelociCheck, modelo 8330-M. A velocidade do ar foi medida na altura da bandeja superior (número 6 da Figura 3.1) e aferida para 3,5m/s a 70°C.

3.1.4. Termo-Higrômetro

A umidade relativa do ar e a temperatura ambiente nos dias de testes preliminares e nos ensaios foram monitoradas a partir do início do processo (etapa HTST), sendo medidas também no início da secagem a 70°C e, em seguida, a cada duas horas de operação. Para este procedimento, utilizou-se um termo-higrômetro da marca Homis modelo 823 e as medições foram realizadas nas proximidades da entrada do ar de secagem pelo soprador.

3.2.5. Cortador de banana e paquímetro

As rodela de banana a serem desidratadas foram cortadas através de um cortador de aço inoxidável construído especificamente para essa finalidade. Este equipamento, mostrado na Figura 3.2, é composto por uma faca também de aço inoxidável e uma peça que permite a regulagem da espessura das rodela. O ajuste foi feito em 1 cm com o auxílio de um paquímetro de alumínio da marca Mitutoyo, com precisão de 0,5 mm.

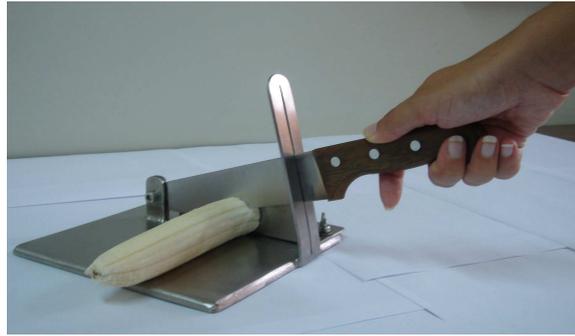


Figura 3.2: Foto do cortador de banana de aço inoxidável com espessura fixa

3.3. MÉTODOS

3.2.1. Preparação da matéria-prima

Para cada ensaio, foram selecionadas de cinco a seis bananas, de massas variadas dependendo do seu tamanho, para serem desidratadas e submetidas às análises de °Brix, composição química (açúcares redutores e totais, amido, proteínas, lipídios e cinzas), cor, teor de umidade e a_w .

De cada fruta, retirou-se uma pequena amostra para a leitura do teor de sólidos solúveis no refratômetro e, estando dentro da faixa desejada, ela era separada para uso, caso contrário era descartada e outra escolhida para nova leitura. Desse modo, após a verificação do valor do °Brix de todas as bananas, cortou-se aproximadamente 1/4 de cada para o processo de secagem. O restante foi mantido a 25°C para as determinações físicas e químicas realizadas em seqüência.

As partes das bananas a serem secas foram descascadas e cortadas no cortador de aço inoxidável (Figura 3.2), obtendo-se rodela de espessura fixa (1 cm), as quais foram novamente cortadas por um estilete em uma tábua de plástico em quartos de rodela. Em seguida, com auxílio de uma pinça, esses pedaços foram dispostos próximos uns aos outros na badeja do secador, com o cuidado de deixar um pequeno espaço livre entre eles para permitir a expansão sem a junção dos mesmos. Na Figura 3.3 estão as fotos da fatia, dos quartos de rodela e da bandeja preparada para a secagem.

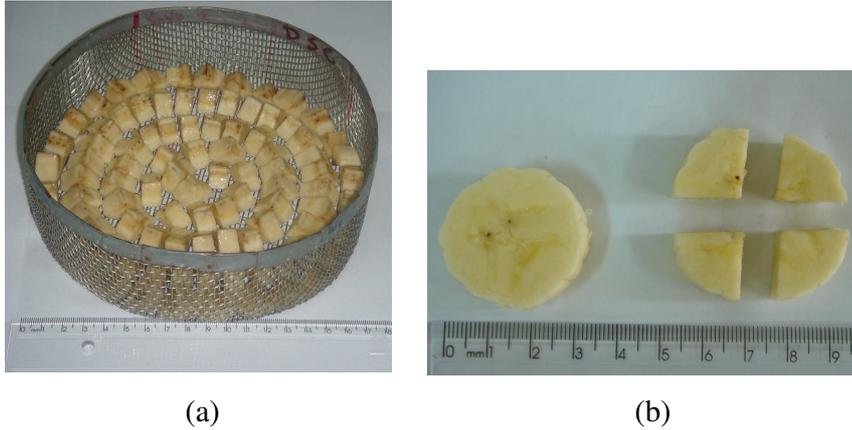


Figura 3.3: (a) bandeja do equipamento com pedaços da matéria-prima pronta para a secagem; (b) rodela e quartos de rodela de banana com 1 cm de espessura.

3.2.2. Caracterização química da matéria-prima

Após a preparação da banana nanica para a operação de secagem e início do processo, aproximadamente metade da massa restante foi separada para a caracterização química da matéria-prima enquanto que a outra metade foi utilizada para a determinação da sua atividade de água e sua cor. Com exceção da análise de amido, a qual foi realizada uma única vez para condição diferente do experimento (ensaios 1, 3, 5, 7 e 9), em todos os dez ensaios, foram feitas as seguintes determinações:

- Teor de sólidos solúveis (°Brix): rodela de cada banana a ser desidratada foram cortadas e amassadas com um garfo, em uma tábua de plástico. Em seguida, inseriu-se uma pequena quantidade da massa em uma camada de algodão que foi torcida até que o suco da amostra fosse expelido diretamente no prisma do refratômetro da marca Zeiss. Depois de lido o valor do °Brix à temperatura ambiente, este foi corrigido para a temperatura marcada no termômetro do aparelho, de acordo com Tabelas de correção (CARVALHO *et. al.*, 1990).
- Açúcares totais e redutores: determinado pela metodologia de Munson-Walker (A.O.A.C. nº 906.03, 1997), a qual se fundamenta na redução de íons cobre bivalente, em meio básico, pelos açúcares redutores.

- Proteínas: determinado de acordo com o método micro-Kjedhal (A.O.A.C. n° 920.152, 1997), que consiste na determinação do conteúdo de nitrogênio na matéria orgânica correspondente ao nitrogênio protéico e outros compostos nitrogenados, como aminas, aminoácidos e outros.
- Lipídios: o teor de lipídios totais foi determinado pela metodologia de Bligh & Dyer, na qual todas as classes desses compostos são extraídas. Referência (BLIGH; DYER, 1959).
- Cinzas: para esta análise, foram pesadas, aproximadamente, 5g de amostra em um cadinho de porcelana que foi aquecido em Bico de Bunsen para ser então levado à mufla (550°C) por 3 horas e depois novamente pesado (A.O.A.C. n° 940.26, 1997).
- Amido: após a separação das amostras de banana, homogeneização pelo mixer, acondicionamento em sacos de polietileno, congelamento e transporte; esta análise foi conduzida pelo Instituto de Tecnologia de Alimentos (ITAL – SP), através do método de Ewers modificado por Hardorn e Doewelaar (DEIMAIR, 1963).
- Umidade: foi determinada através do método n° 934.06 da A.O.A.C (1997), e calculada em base úmida. Este método consistiu na pesagem de aproximadamente um grama de amostra em cadinhos de alumínio previamente tarados em balança analítica (marca Sartorius, modelo PRO 33/34A), com divisão de 0,0001g. Este procedimento foi seguido pela remoção total de água em estufa a vácuo (marca Sulab, modelo EST-920/300), com 25 mmHg, a 70°C. As amostras foram pesadas em intervalos de 24 horas até obter-se peso constante, o que ocorria entre 48 e 72 horas.

Todas as determinações de composição química da banana nanica foram realizadas em triplicata, com os cálculos em base úmida. O resultado final foi considerado como o valor médio entre as repetições.

3.2.3. Medidas da atividade de água (a_w)

A atividade de água (a_w) da banana “in natura” e do produto final crocante foi medida por um Decagon da marca AquaLab de série 3 TE, a 25 °C, calibrado e disposto em uma sala climatizada do Laboratório de Engenharia de Processos (DEA). O resultado final foi expresso como a média entre três leituras consecutivas.

Para a banana fresca, amassou-se com um garfo uma pequena quantidade suficiente para preencher o fundo da cápsula do equipamento de leitura. Já para o produto crocante, foi necessário triturar um pedaço para também preencher a mesma cápsula possibilitando a leitura.

3.2.4. Cor

A quantidade de banana “in natura” separada para a análise de sua cor foi levada ao Laboratório de Pigmentos e Cor do DTA-FEA-Unicamp e homogeneizada utilizando-se um mixer. A polpa foi então inserida em uma cubeta de vidro ópticamente polido, a qual foi aproximada do feixe de luz do colorímetro da marca HunterLab, modelo ColorQuest II, para a determinação dos valores de L^* ou luminosidade (preto 0/branco 100), a^* (verde - /vermelho +) e b^* (azul -/amarelo +), referidos também como CIELab. Foram feitas três leituras em pontos diferentes de cada lado da cubeta, totalizando seis valores e calculou-se a média e o desvio-padrão das leituras para cada parâmetro (L^* , a^* e b^*).

Da mesma forma, foi avaliada a cor do produto final. Para isso, toda a banana crocante produzida foi cortada e misturada aos pedaços rompidos provenientes da análise de textura. Toda essa quantidade foi moída no moinho da marca Tecnal, modelo TE-631/1, do Laboratório de Bioprocessos (DEA), durante 60 segundos, e em seguida, foi amassada em almofariz e pistilo.

Uma vez transformada em pó, a banana seca foi colocada na mesma cubeta de acrílico e aproximada do feixe de luz do colorímetro para a determinação dos valores de L^* , a^* e b^* . Por fim, foram feitas novamente três leituras em pontos diferentes de cada lado da cubeta, totalizando seis valores e, calculou-se a média das leituras para cada parâmetro, bem como o desvio-padrão.

É importante salientar que, após algumas tentativas com os *snacks* crocantes, tanto inteiros quanto cortados, esta foi a única forma encontrada para a realização da leitura dos parâmetros de cor do produto final, já que apenas desta maneira foi possível preencher a cubeta do equipamento para que todo o diâmetro do feixe de luz atravessasse a banana. Além disso, neste estado em pó, a mesma ficou homogeneizada, ao contrário da forma apenas cortada ou triturada, na qual haveria uma grande diferença entre pontos bem mais escuros que outros. Portanto, os valores de cor determinados neste experimento não representam a cor em si da crosta do *snack* e sim do produto como um todo, inclusive internamente, permitindo avaliar apenas a diferença entre os produtos de matérias-primas distintas.

3.2.5. Textura instrumental

Ao final do processo de secagem, os *snacks* de banana crocante foram submetidos à ruptura a velocidade constante em um texturômetro TAXT2i da Stable Microsystems, com precisão de $\pm 0,005\text{N}$, localizado em sala climatizada do LEP – DEA – FEA.

Após a calibração da força com uma carga de 5 kg, além do estabelecimento dos parâmetros de teste no software, foram tomados 15 pedaços do produto final, de forma aleatória. Cada um dos *snacks* foi posicionado deitado, no centro da mesa do texturômetro, com o miolo voltado para fora, de modo que o probe o rompesse na metade.

Em seguida, aplicou-se um teste de força sob compressão uniaxial utilizando-se o probe Volodkevich Bite Jaws (HDP/VB), em formato de dente, a uma velocidade de deformação de 1mm/s. A amostra foi comprimida até 50% da altura original e, após a ruptura, o farelo foi recolhido em uma placa de Petri para ser aproveitado na análise de cor.

Devido à baixa reprodutibilidade dos testes de textura para este tipo de produto, optou-se por realizar quinze repetições para cada um dos dez ensaios. Com os dados de força (Newton), distância percorrida pelo probe (mm) e tempo de teste (segundo), foram plotados gráficos de força *versus* tempo para cada repetição, totalizando 150.

Em cada gráfico, determinaram-se dois parâmetros da crocância: a força máxima de compressão e o número de picos. O valor final considerado para cada ensaio foi a média entre as quinze repetições, sendo calculado o desvio-padrão.

A contagem de picos foi feita manualmente baseando-se em um limiar de percepção (*Threshold*), isto é, a diferença mínima entre dois pontos, de 0,1N (Stablemicrosystems, 1996). Aqui também considerou-se a média entre as quinze repetições e calculou-se o desvio-padrão.

3.2.6. Testes preliminares

3.2.6.1. Definição das faixas de sólidos solúveis (°Brix)

Foram realizadas, neste trabalho, inúmeras leituras do teor de sólidos solúveis das bananas de ambas as origens já adquiridas e armazenadas nos laboratórios, dentro de um intervalo amplo de maturação, abrangendo frutas mais verdes e mais maduras. A partir daí, selecionaram-se três intervalos de °Brix para a banana proveniente de Registro e dois para aquela proveniente de Eldorado. Esta escolha foi baseada nas restrições físicas da análise em si, aplicada à banana, na adequação do processo e na ocorrência do *puffing*, já vislumbrando-se as características sensoriais do produto final, a partir dos resultados de Hofsetz (2003).

Portanto, três faixas de °Brix, denominadas de F1, F2 e F3, foram definidas para representar diferentes graus de maturação e estão expostas na Tabela 3.1:

Tabela 3.1: Faixas do teor de sólidos solúveis, em °Brix, para cada origem da fruta.

Origem da banana	Faixas de sólidos solúveis (°Brix)		
	F1	F2	F3
Registro-SP (CEASA)	18,9-19,5	20,9-21,5	22,9-23,5
Eldorado-SP	—	20,9-21,5	22,9-23,5

Em relação à matéria-prima de Registro, o cacho da primeira faixa (F1) era composto por frutas de casca com tons de amarelo claro, mas ainda com traços verdes, principalmente nas extremidades, com sabor levemente adstringente. A casca da banana de °Brix F2 já era completamente amarela e sua polpa mais macia e sabor doce. Finalmente os cachos do terceiro intervalo (F3) eram de coloração amarela bastante forte, sendo a textura da polpa

extremamente macia e o gosto muito doce. Todas as frutas eram grandes, retas e compridas, chegando até 20 cm de comprimento.

Por outro lado, se comparadas às bananas provenientes de Registro, aquelas originárias de Eldorado eram bem menores, muito mais curvadas e de polpa mais dura e mais amarela, especialmente aquelas em avançado estágio de maturação. Sensorialmente e em termos de textura, essas frutas apresentavam grande diferença entre uma mais verde e outra mais madura.

Uma das maiores dificuldades nesta pesquisa foi a leitura do teor de sólidos solúveis dessa banana por apresentar uma polpa muito dura quando verde e extremamente mole e doce quando um pouco mais madura. Portanto, essa diferença de textura e sabor foi a distinção fundamental entre as faixas de °Brix F2 e F3 dos cachos vindos de Eldorado.

Na Figura 3.4 estão apresentadas algumas fotos ilustrativas da matéria-prima.



(a) comprimento aproximado de 20 cm



(b) bananas F1



(c) bananas F3

Figura 3.4: Fotos ilustrativas da banana originária de Registro

As frutas apresentando um teor de sólidos solúveis acima de 23,5 °Brix estavam muito maduras, com aroma forte, casca amarela e apresentando muitas pintas pretas e, dessa forma, foram consideradas inadequadas ao processamento por não conter amido suficiente à ocorrência do *puffing*, além da provável produção de uma banana crocante “queimada” devido à intensa caramelização.

Quanto à matéria-prima adquirida no CEASA mais verde que 18,5 °Brix, esta poderia produzir as bananas crocantes desejáveis, porém com características sensoriais

desagradáveis de adstringência. Já as de Eldorado nesse intervalo de °Brix eram impossíveis de serem medidas, pois sua polpa era dura sem a possibilidade de espremer o caldo.

3.2.6.2. Testes *HTST*

Com as bananas originárias de Registro (SP) na faixa F1 de °Brix foram realizados testes da etapa de secagem a alta temperatura e curto tempo (*HTST*), para definir o tempo de processo dessa fase.

A temperatura escolhida foi de 150°C, baseada nos resultados obtidos por Hofsetz (2003), que obteve um produto crocante. Os tempos testados foram de 8, 9, 10, 12, 15, 16, 17, 18, 19 e 20 min.

No sentido de padronizar a avaliação das características do produto nestes testes a fim de determinar os tempos de *HTST* que produzissem o melhor aspecto geral do *snack*, os quatro parâmetros mais relevantes ao processo e à aceitação do produto foram observados e a intensidade dos mesmos foi analisada através de uma escala. Tais parâmetros, simbolizados por **P1**, **P2**, **P3** e **P4**, foram:

- **P1** → **ocorrência de *puffing***: verificação do fenômeno de expansão, fundamental ao processo, com o início da formação de poros e a saída de bolhas de água para a superfície da banana.
- **P2** → **desenvolvimento da cor caramelo**: surgimento de cor devido principalmente às reações de Maillard e caramelização, que é de extrema importância à aceitação da aparência do produto final.
- **P3** → **encolhimento da estrutura expandida**: observação da redução do volume dos pedaços, com o conseqüente encolhimento e perda da estrutura do mesmo, o que contribui negativamente para a aceitação dos *snacks*.
- **P4** → **escurecimento**: excesso de desenvolvimento de cor levando ao escurecimento das amostras com o surgimento de sabor e aspecto de queimado, sendo também um parâmetro de rejeição do mercado, se ocorrer em exagero.

Quanto à intensidade de ocorrência desses parâmetros, uma escala de quatro níveis foi feita com grau baixo, médio, alto de intensidade e a total ausência da característica (nulo). Dessa forma, cada parâmetro foi classificado de acordo com a sua intensidade.

3.2.6.3. Determinação do perfil de arrefecimento

Após a seleção e fixação do tempo da etapa *HTST*, iniciaram-se testes com secador sem nenhuma fruta apenas para definir um perfil de redução da temperatura de 150°C para 70°C. Essa etapa de transição é de extrema relevância para que a mudança de temperatura não seja drástica a ponto de causar encolhimento acentuado nos *snacks*. Assim, determinou-se um gradiente padrão de maior tempo possível, obtido através do controle das resistências do aquecedor e mudanças sequenciais no *set-point* do equipamento e novos testes foram realizados com a bandeja contendo os pedaços de banana. Observando-se o comportamento do produto em termos de encolhimento e escurecimento e características sensoriais, especialmente o aroma e o gosto de “queimado”, os ajustes necessários foram feitos, definindo-se um perfil final de arrefecimento.

3.2.6.4. Testes da secagem completa

Com base nos testes de secagem a alta temperatura, foram selecionados os tempos mais adequados desta etapa e, com eles, realizaram-se testes da secagem completa da banana (etapa *HTST* + perfil de arrefecimento + secagem convencional a 70°C) para a obtenção de um *snack* crocante. Os objetivos dessa fase foram determinar o tempo total do processo, tal que o produto final apresentasse uma atividade de água (a_w) menor que 0,3, e escolher a combinação das três etapas de secagem em sequência que produzisse *snacks* de melhor qualidade em termos dos parâmetros P1, P2, P3 e P4, definidos anteriormente no item 3.2.6.1.

Cada origem da banana em cada faixa de sólidos solúveis foi submetida à secagem completa. Durante o estágio mais longo (70°C) a cada hora de processo a partir da 4ª hora nessa temperatura, amostras foram retiradas do secador para a determinação da a_w no Decagon (após a estabilização da temperatura das amostras dentro de um dessecador em

sala climatizada), até que a secagem fornecesse o valor desejado ($a_w < 0,3$), ponto final do processo. Este ponto foi escolhido no sentido de garantir um produto com a_w abaixo do intervalo crítico definido por Katz e Labuza (1981)

3.2.7. Operação de secagem

O plano experimental foi composto por cinco ensaios em duplicata. Cada um dos cinco ensaios foi feito com uma banana distinta: três da primeira origem e duas da segunda, sendo cada origem dentro de uma faixa de °Brix diferente. Os dez ensaios do experimento estão descritos na Tabela 3.2:

Tabela 3.2: Ensaios do experimento.

N° do ensaio	Origem da banana	Faixa de °Brix
1	Registro	F3
2	Registro	F3
3	Registro	F2
4	Registro	F2
5	Registro	F1
6	Registro	F1
7	Eldorado	F3
8	Eldorado	F3
9	Eldorado	F2
10	Eldorado	F2

O processo de obtenção da banana crocante consistiu de três etapas na operação de secagem, após a preparação da matéria-prima, como mostra a Figura 3.5:

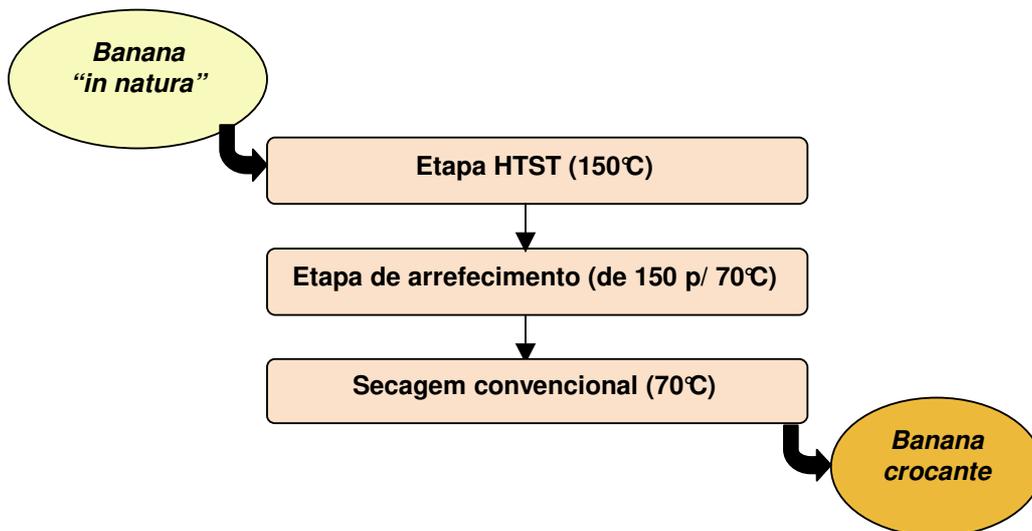


Figura 3.5: Fluxograma do processo de secagem.

Com o equipamento ligado, já estabilizado na temperatura de 150°C, a bandeja contendo os pedaços de banana era inserida dentro da coluna do secador. O cronômetro era acionado até atingir o tempo determinado nos testes preliminares para esta primeira etapa, quando o cronômetro era zerado, religado e a temperatura de *set-point* era então alterada, através do controlador de temperatura, para seguir o perfil de arrefecimento também pré-estabelecido pelos testes preliminares. Após atingir a última temperatura de *set-point* (70°C), o cronômetro era novamente zerado e acionado, iniciando a etapa de secagem mais longa. De acordo com os testes de processo completo, era possível ter uma estimativa do tempo desta terceira e última etapa. Assim, 1 hora antes do fim do processo estimado, retirava-se uma amostra para a verificação da a_w , procedimento que funcionava como um indicador da interrupção ou não da operação. Tendo atingido um valor menor que 0,3, a bandeja era então retirada da coluna, acondicionada em um dessecador para as análises posteriores e o equipamento desligado.

A umidade relativa do ar e a temperatura ambiente foram monitoradas durante toda a operação de secagem, desde o início da etapa *HTST* até o fim da secagem à temperatura intermediária, através de uma medida de tempos em tempos pelo termo-higrômetro.

Após o processo de secagem, a bandeja com *snacks* de banana crocante foi retirada do secador e mantida em um dessecador em uma sala climatizada do Laboratório de Engenharia de Processos para a estabilização da temperatura e posteriores determinações.

3.2.8. Análise estatística

A análise estatística do experimento foi realizada no Instituto de Matemática e Estatística da Unicamp, pela Estat Júnior – estudos aplicados à estatística.

Para avaliar a influência da origem, grau de maturação (representado pelo teor de sólidos solúveis), teores de componentes químicos e cor da matéria-prima sobre a crocância, cor e a_w da banana crocante obtida por secagem a alta temperatura, realizou-se uma análise estatística através do teste de Wilcoxon com o intuito de determinar quais as variáveis da banana nanica são estatisticamente significativas sobre alguns atributos do produto final.

É importante destacar que foi utilizado um teste não-paramétrico (Wilcoxon), devido ao pequeno número de unidades amostrais (10) e a conseqüente perda da propriedade assintótica e ausência de uma distribuição de apoio. Portanto, não foi possível aplicar o teste de Tukey, já que com apenas 2 repetições para cada uma das cinco condições distintas, totalizando 10 ensaios, não podemos afirmar que há simetria entre elas, o que é uma exigência do teste de Tukey (ESTAT JÚNIOR, 2007).

As variáveis de entrada foram: “origem”, “°Brix”, “açúcares totais”, “açúcares redutores”, “proteínas”, “amido”, “cinzas” e os valores dos parâmetros de cor instrumental relevantes, todas referentes à matéria-prima. Por outro lado, as variáveis respostas foram: “Fmáx” e “número de picos”, referentes aos gráficos de força *versus* tempo, obtidos nos testes de textura instrumental e os parâmetros de cor (a^* , b^* e L^*), todos referentes ao produto final.

3.2.8.1. Parâmetros de cor instrumental antes e depois do processo

Inicialmente, verificou-se se o processo de secagem aplicado altera significativamente as características de cor da banana, representada pelos parâmetros a^* , b^* e L^* do sistema

CIELab. Esta análise foi necessária para identificar quais variáveis de entrada seriam responsáveis pela mudança no comportamento da cor do produto.

Para isto, foi aplicado o teste Wilcoxon a um nível de significância de 95% a cada um dos três pares de variáveis: L* "in natura" e L* seca, a* "in natura" e a* seca, e b* "in natura" e b* seca.

Uma vez definidos os parâmetros de cor instrumental que são alterados com a secagem, foram realizadas novas análises de significância e determinaram-se os modelos de regressão.

3.2.8.2. Análise de Significância, Modelos de Regressão e Análise de Variância

Aplicando-se novamente o teste de Wilcoxon para cada resposta, foi possível determinar quais variáveis de entrada foram estatisticamente significantes, o Modelo de Regressão que melhor se ajustou às transformações necessárias e seus respectivos níveis de significância e coeficientes de regressão (R^2), bem como a análise de variância (ANOVA).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Caracterização da matéria-prima

4.1.1. Determinações químicas

Na Tabela 4.1 estão apresentados os valores médios e o desvio-padrão de triplicatas do teor de sólidos solúveis (°Brix), amido, açúcares redutores, açúcares totais, proteínas, lipídios, cinzas e umidade, todos em base úmida.

Tabela 4.1: Valores de composição química da banana nanica, em %, para duas origens e três graus de maturação distintos.

Ensaio	Origem	°Brix	amido	açúcar reduto	açúcar total	proteína	lipídio	cinza	água
1	Registro	F3 - 23,12±0,13	5,2±0,1	9,70±0,80	31,21±1,35	1,00±0,03	0,16±0,01	1,53±0,04	76,11±0,00
2	Registro	F3 - 23,17±0,14	-	8,85±1,85	25,55±0,06	1,25±0,01	0,15±0,02	1,44±0,14	75,26±0,01
3	Registro	F2 - 21,12±0,06	6,7±0,0	4,51±1,59	18,84±2,09	0,99±0,02	0,16±0,02	1,74±0,05	74,19±0,00
4	Registro	F2 - 21,18±0,60	-	6,41±0,42	24,13±0,66	1,18±0,08	0,14±0,00	2,60±0,10	74,74±0,00
5	Registro	F1 - 19,33±0,05	9,1±0,0	3,62±1,00	17,33±1,29	1,12±0,03	0,19±0,01	1,41±0,10	70,93±0,01
6	Registro	F1 - 19,22±0,04	-	3,70±1,00	14,97±0,68	1,34±0,03	0,15±0,04	1,49±0,06	70,38±0,01
7	Eldorado	F3 - 23,11±0,05	7,4±0,2	6,00±1,57	25,79±0,95	1,40±0,01	0,17±0,00	2,22±0,17	76,31±0,01
8	Eldorado	F3 - 23,40±0,06	-	5,59±0,28	23,71±1,79	1,71±0,01	0,26±0,00	1,48±0,03	68,06±0,00
9	Eldorado	F2 - 21,17±0,06	11,4±0,2	5,25±1,90	23,22±3,96	1,20±0,16	0,20±0,01	2,41±0,12	68,65±0,01
10	Eldorado	F2 - 21,00±0,07	-	4,47±0,16	22,01±0,55	1,66±0,03	0,24±0,02	1,41±0,10	69,22±0,00

Comparando-se as procedências da matéria-prima, pode-se observar que aquela proveniente do município de Eldorado apresenta maiores quantidades de amido em relação à de Registro, dentro da mesma faixa de °Brix. Quanto ao teor de açúcares redutores, o oposto ocorre para o terceiro intervalo de °Brix, no qual as frutas de Registro contêm maiores quantidades de frutose e glicose do que as de Eldorado. Como esperado, quanto maior o teor de amido da banana fresca, menor o conteúdo de sólidos solúveis e dos açúcares totais. O mesmo foi observado por Lii *et al.* (1982), quando os autores estudaram mudanças na composição química durante o amadurecimento de bananas em termos de teor de amido e açúcares redutores. Os autores observaram que as frutas apresentaram uma redução do teor de amido de 61,7% para 2,6% quando passavam do estágio de maturação verde para o mais maduro, respectivamente. Em relação à quantidade de açúcares redutores, a mesma aumentou de 0,2% para 33,6% à medida que ocorria o amadurecimento da fruta. Krokida, Tsami e Maroulis (1998) determinaram a quantidade de açúcares totais da banana e reportaram um intervalo de 24 a 32% destes nutrientes, sendo uma faixa que abrange todos os valores encontrados neste trabalho, com exceção das amostras de Registro com o grau de maturação mais verde (ensaios 5 e 6).

Em termos de proteínas e lipídios, as bananas de Eldorado também se apresentaram mais ricas nesses nutrientes em ambos os graus de maturação (faixas F3 e F2 de sólidos solúveis), se comparadas àquelas originárias de Registro. Ammawath *et al.* (2001), estudaram duas variedades de banana, Abu e Nangka, com dois estágios de maturação (verde e maduro), e verificaram que a primeira variedade apresentou valores de teor de proteínas menores que a outra (1,32% para a banana verde e 1,17% para a madura; 1,58% para a verde e 1,64% para a madura, respectivamente). Os resultados encontrados para o teor de proteínas se assemelharam aos de Krokida, Tsami e Maroulis (1998), Medina *et al.* (1978) e Moreira (1987), que foram de 1,3%, 1,2% e 1,1%, respectivamente, especialmente para as bananas de Registro. Entretanto os primeiros autores obtiveram 0,4% de lipídeos na banana, sendo superior aos valores encontrados neste estudo para todas as amostras, os quais se assemelharam mais aos resultados de Moreira (1987) e Medina *et al.* (1978), ambos de 0,2% de lipídeos.

Quanto ao conteúdo de cinzas, todas as faixas de °Brix e procedências da matéria-prima apresentaram valores próximos de 1,50%, com exceção dos ensaios 4, 7 e 8, nos quais obteve-se teores maiores atingindo 2,60%. Comparando esses resultados com aqueles obtidos por Moreira (1987) e Medina *et al.* (1978) de 1% e 0,8%, respectivamente, eles foram bem maiores para todas as amostras.

4.1.2. Atividade de água (a_w)

O valor médio da atividade de água da banana nanica “in natura” para cada ensaio está apresentado na Tabela 4.2:

Tabela 4.2: Atividade de água (a_w) da banana “in natura”

N° do ensaio	Origem / °Brix	a_w
1	Registro / F3	0,984±0,001
2	Registro / F3	0,989±0,001
3	Registro / F2	0,990±0,001
4	Registro / F2	0,989±0,000
5	Registro / F1	0,989±0,001
6	Registro / F1	0,989±0,000
7	Eldorado / F3	0,990±0,001
8	Eldorado / F3	0,985±0,001
9	Eldorado / F2	0,980±0,001
10	Eldorado / F2	0,982±0,001

A atividade de água da matéria-prima é bastante elevada, e seu valor praticamente não variou entre as duas origens e os três intervalos de sólidos solúveis, ficando entre 0,982 e 0,990. Não foram encontrados estudos que reportem a determinação da a_w para a banana nanica até o presente momento.

4.1.3. Cor instrumental

A média e o desvio-padrão das seis leituras de cada parâmetro de cor da banana fresca do sistema CIELAB (a^* , b^* e L^*) foi calculada para cada ensaio (Tabela 4.3).

Tabela 4.3: Cor instrumental da banana fresca do sistema CIELAB

N° do ensaio	Origem / °Brix	a*	b*	L*
1	Registro / F3	5,09±0,13	20,93±0,86	53,35±0,80
2	Registro / F3	3,22±0,09	21,74±0,44	64,29±0,24
3	Registro / F2	2,99±0,05	21,41±0,05	69,89±0,04
4	Registro / F2	2,76±0,05	24,42±0,63	67,98±0,30
5	Registro / F1	3,25±0,06	22,24±0,11	72,07±0,14
6	Registro / F1	3,35±0,15	23,88±0,29	70,42±0,15
7	Eldorado / F3	6,49±0,18	24,56±0,55	57,01±0,28
8	Eldorado / F3	7,11±0,12	29,75±0,90	63,52±0,90
9	Eldorado / F2	7,23±0,10	26,97±0,28	63,11±0,26
10	Eldorado / F2	8,05±0,12	27,44±0,75	65,37±0,47

Pode-se observar que as bananas originárias de Registro apresentam valores de luminosidade que aumentou conforme diminui o grau de maturação (faixa de °Brix) das mesmas, isto é, quanto mais maduras e doces, mais escuras. Porém, a mesma tendência não foi observada nas frutas de Eldorado, as quais apresentam valores de L* menores que os valores da primeira procedência, no geral. Comparando-se os resultados com os obtidos por Maskan (2000), nos quais o valor de L* foi de 71,01, as bananas de Registro mais verdes, isto é, na faixa F1 de °Brix, apresentaram uma média também em torno de 71,0.

Em relação ao parâmetro a*, a matéria-prima proveniente de Registro com faixa de °Brix F2 apresentou valores ligeiramente menores que as demais faixas. Porém todos os valores não foram maiores que 5,09; o que não ocorreu com a matéria-prima de Eldorado, a qual apresentou valores de a* aproximadamente entre 6,5 e 8. Esses baixos números se devem ao fato deste parâmetro representar a faixa de cores do verde ao vermelho, sendo apenas este último muito pouco presente na banana. Similarmente ao parâmetro L*, os valores de a* encontrados para as bananas de Registros foram parecidos com o resultado de Maskan (2000), o qual foi em torno de 4,0.

Finalmente, analisando os dados obtidos para o parâmetro b*, tem-se que as bananas adquiridas de Registro apresentaram valores próximos de 21-23,9 os quais também são inferiores a seus equivalentes nas frutas de Eldorado (24,6-29,8). Essa diferença de origem expressa na cor foi visualmente observada, pois a coloração amarela nessas

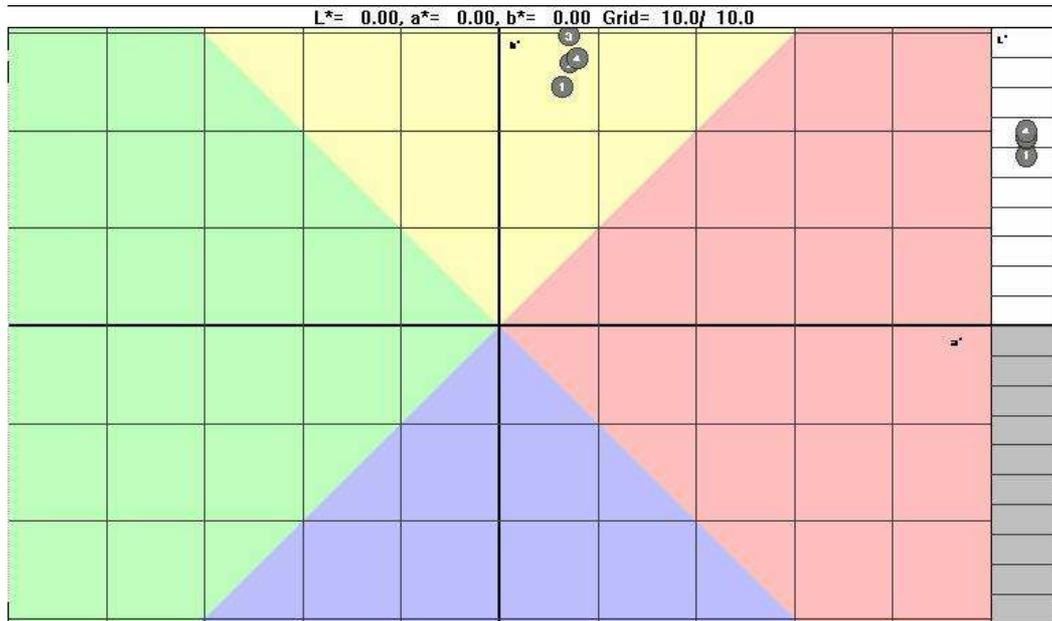


Figura 4.2: Gráfico de cor da matéria-prima procedente de Eldorado (ensaios 4-10)

Ambas as Figuras apresentam o espectro de cor definido por Hunter, de modo bidimensional, no qual os valores de a^* vão de -100 (verde) até +100 (vermelho) no eixo das abscissas, enquanto que o parâmetro b^* é descrito pelo eixo das coordenadas, variando de -100 (azul) até +100 (amarelo). É importante salientar que estas quatro cores primárias não são separadas de modo rígido, com fronteiras delimitadas. De fato, há cores de transição entre as mesmas. Além disso, ao lado direito e parte do espectro, tem-se o terceiro eixo que representa os valores de luminosidade (L^*), os quais podem variar de 0 a 100. Quanto maior este valor, mais claras são as amostras e vice-versa.

Em cada espectro, têm-se dois círculos cinza para cada ensaio, um para representar o valor de a^*/b^* e o outro representando o valor do parâmetro L^* .

4.2. Testes preliminares

4.2.1. Testes *HTST*

Os intervalos de tempo da etapa *HTST*, os quais foram avaliados, estão apresentados na Tabela 4.4 com as respectivas observações visuais, as quais estão padronizadas na Tabela 4.5:

Tabela 4.4: Tempos de *HTST* testados e respectivas observações

Tempo (min)	Observações sobre as amostras de banana
8	Amostras muito claras sem a observação da ocorrência do <i>puffing</i> .
9	Amostras muito claras sem a observação da ocorrência do <i>puffing</i> .
10	Cor ainda clara com uma expansão mínima da estrutura.
12	Sinais de caramelização e ocorrência de <i>puffing</i> evidente.
15	Caramelização e <i>puffing</i> mais evidente ainda.
16	Amostras de cor caramelo mais escuras, apresentando pouco encolhimento.
17	Amostras de cor caramelo mais escuras, apresentando pouco encolhimento.
18	Cor caramelo-escuro e pouco encolhimento, mantendo a estrutura expandida.
19	Escurecimento acentuado e um pouco mais de encolhimento.
20	Escurecimento acentuado com aspecto e sabor de queimado e mais encolhimento.

Tabela 4.5: Escala de parâmetros (*HTST*)

Tempo (min)	P1	P2	P3	P4
8	X	X	X	X
9	X	X	X	X
10	•	X	X	X
12	••	•	X	X
15	••••	••••	X	X
16	••••	••••	•	•
17	••••	••••	•	••
18	••••	••••	•	••
19	••••	••••	••	••••
20	••••	••••	••	••••

Legenda:

P1 → ocorrência de *puffing*

P2 → desenvolvimento de cor caramelo

P3 → encolhimento da estrutura expandida

P4 → escurecimento

Escala de intensidade:

X = nulo

• = baixo grau

•• = médio grau

••• = alto grau

Em função desses resultados, selecionaram-se os tempos de 16, 17 e 18 minutos, os quais foram utilizados nos testes de secagem completa para que fosse determinado, ao final, qual deles produziria um produto melhor e que seria usado em todos os dez ensaios durante a primeira fase de secagem a 150°C.

4.2.2. Etapa intermediária de arrefecimento

Novos testes foram conduzidos e assim determinou-se o perfil mais adequado de redução da temperatura de 150° para 70°C. Esta redução está descrita na Tabela 4.6:

Tabela 4.6: Perfil de redução da alta temperatura (150°C) para a convencional (70°C).

Redução de temperatura	Tempo
150 - 140°C	3 min para reduzir a temperatura e mais 5 min controlando em 140°C, totalizando 8 min.
140 - 130°C	1,5 a 2 min para decair e mais 8 min controlando em 130°C, totalizando 18 min até esta etapa.
130 - 120°C	3 min para a redução seguidos de mais 4 min controlando em 120°C, atingindo um total de 25 min.
120 - 110°C	3 min para a redução seguidos de mais 3 min controlando em 110°C, atingindo em torno de 31 min.
110 - 100°C	6 a 6,5 min necessários para a temperatura decair para 100°C, totalizando 37 a 37,5 min até este <i>set point</i> .
100 - 85°C	6,5 a 7 min necessários para a temperatura reduzir 15°C, totalizando por volta de 43 a 44 min.
85 - 70°C	Novamente mais 7 min decorridos até que fosse alcançada a última temperatura de <i>set point</i> (70°C).

Para a determinação do arrefecimento da temperatura, observou-se que quanto mais tempo as amostras permanecessem nos valores mais altos, ou seja, a 140, 130 e 120°C, melhor o resultado final, pois menor o encolhimento dos pedaços era minimizado.

O tempo total desta fase foi de aproximadamente 50 minutos.

Está apresentado na Figura 4.3 o gráfico da temperatura (°C) versus tempo (min) desta etapa:

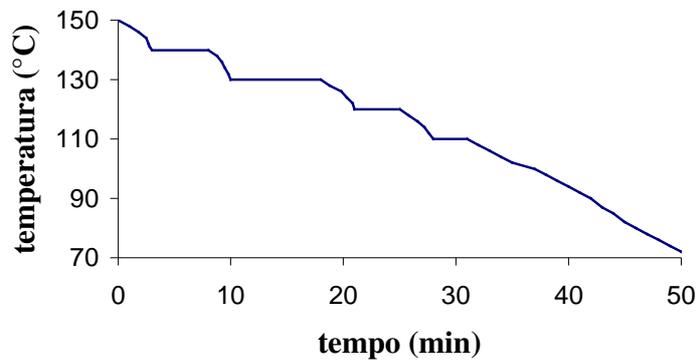


Figura 4.3: Gráfico da temperatura versus tempo da etapa de arrefecimento

4.2.3. Testes da secagem completa

Estes testes foram feitos utilizando-se o método *HTST* (150°C por 15, 17 e 18 min), seguido da redução de temperatura, descrito na Tabela 4.3 e, por fim, a secagem à temperatura intermediária (70°C) até que o produto final apresentasse $a_w < 0,3$. Os tempos necessários para essa última parte do processo (secagem convencional), para cada tempo de alta temperatura testado, estão apresentados na Tabela 4.7 para cada condição de °Brix e procedência da matéria-prima;

Tabela 4.7: Tempo de secagem (horas) necessário para alcançar $a_w < 0,3$

N° do ensaio	Origem / °Brix	Tempo da secagem a 70°C		
		16 min <i>HTST</i>	17 min <i>HTST</i>	18 min <i>HTST</i>
1	Registro / F3	9 horas	8 horas	8 horas
2	Registro / F3	9 horas	8 horas	7 horas
3	Registro / F2	8 horas	8 horas	7 horas
4	Registro / F2	8 horas	8 horas	6 horas
5	Registro / F1	8 horas	8 horas	8 horas
6	Registro / F1	9 horas	8 horas	8 horas
7	Eldorado / F3	9 horas	9 horas	7 horas
8	Eldorado / F3	8 horas	7 horas	6 horas
9	Eldorado / F2	8 horas	7 horas	6 horas
10	Eldorado / F2	8 horas	7 horas	6 horas

Os tempos de secagem a 70°C entre testes com a matéria-prima submetida ao mesmo tempo durante a etapa *HTST* apresentaram algumas variações, principalmente devido a diferenças de umidade relativa e temperatura do ar. Estes testes foram realizados entre os meses de Janeiro e Maio, quando a umidade relativa do ar variou entre 45-70% e a sua temperatura entre 20-25°C. No entanto, comparando-se testes nos quais o tempo permitido a alta temperatura foi distinto, pode-se observar uma redução geral do tempo da etapa mais longa de secagem (70°C) quando utilizamos 18 min no modo *HTST*.

Com a obtenção destes resultados, escolheu-se o tempo de 18 min para a etapa *HTST* a 150°C, pois este foi o tempo considerado ideal para que ocorresse o *puffing* máximo das amostras de banana, sem que as mesmas queimassem, e simultaneamente, com o mínimo de encolhimento possível e manutenção da estrutura do *snack* até o final da secagem a 70°C. Apesar de ser 1 ou 2 minutos a mais na primeira etapa do processo, na última fase houve maior rapidez no alcance do ponto final da secagem, ou seja, $a_w < 0,3$.

4.3. Ensaio completos

Os 10 ensaios que compõem o experimento iniciaram-se por volta da mesma hora do dia (manhã) e foram realizados durante quatro semanas corridas de tal modo a minimizar o efeito da umidade relativa e temperatura do ambiente, sobre o processo, evitando assim grandes variações desses fatores. Todos os dias do experimento estavam ensolarados, sem nenhum período de chuva. O tempo total, assim como a evolução da temperatura e da umidade relativa do ar durante o processo, em cada ensaio, estão dispostos nas Tabelas 4.8 e 4.9, na qual UR é o valor da umidade relativa do ar ambiente, em %, e T_a a temperatura ambiente, em graus Celsius:

Tabela 4.8: Tempo total aproximado de processo para cada ensaio

N° do ensaio	Origem / °Brix	Tempo de processo
1	Registro / F3	9 horas
2	Registro / F3	8 horas
3	Registro / F2	8 horas
4	Registro / F2	7 horas
5	Registro / F1	9 horas
6	Registro / F1	9 horas
7	Eldorado / F3	8 horas
8	Eldorado / F3	7 horas
9	Eldorado / F2	7 horas
10	Eldorado / F2	7 horas

Relacionado as Tabelas 4.1 e 4.8, é possível explicar um tempo total de secagem menor nos três últimos ensaios pela menor umidade inicial da matéria-prima de Eldorado. Da mesma forma, nos dois primeiros ensaios, utilizou-se uma fruta com umidade acima de 75% , acarretando num tempo de processo até 9 horas.

Tabela 4.9: Evolução da umidade relativa e temperatura do ar ambiente durante a secagem em cada ensaio

ensaio	Ponto do processo de registro das medições											
	início HTST		0h - 70°C		2hs - 70°C		4hs - 70°C		6hs - 70°C		8hs - 70°C	
	UR (%)	T _a (°C)	UR (%)	T _a (°C)	UR (%)	T _a (°C)	UR (%)	T _a (°C)	U (%)	T _a (°C)	UR (%)	T _a (°C)
1	64,2	21,6	59,2	23,2	52,5	25,5	39,3	27,4	47,3	26,3	53,0	24,4
2	48,7	22,3	40,0	25,1	28,0	27,3	32,8	25,0	30,8	26,0	-	-
3	60,6	17	54,1	18,7	45,2	21,2	37,0	23,3	39,8	23,58	42,3	22,8
4	49,5	22,9	46,3	22,9	36,5	23,6	32,4	25,6	41,9	22,9	-	-
5	68,3	20,8	61,5	22,7	46,6	22,6	47,7	27,7	48,5	28,6	50,8	25,6
6	62,0	22,0	47,4	26,1	38,5	28,1	32,3	28,9	33,4	28,8	51,5	25,2
7	43,9	22,4	37,4	23,7	28,3	26,0	28,5	27,7	35,5	25,2	-	-
8	41,0	23,6	31,3	25,0	19,0	28,5	16,4	29,4	18,5	29,5	-	-
9	28,5	25,4	33,3	27,7	16,8	31,2	18,0	31,1	18,8	30,9	-	-
10	36,5	21,3	32,0	23,5	26,0	26,4	23,8	26,8	-	-	-	-

A umidade relativa do ar ambiente oscilou aproximadamente entre 48-60% nos períodos mais frios do dia (início da manhã e início da noite) e entre 18-30% no período mais quente (do meio-dia às três horas da tarde), com exceção do primeiro ensaio, no qual este valor apresentou-se mais alto por ter sido um dia ainda muito úmido, e os ensaios 9 e 10, que, ao contrário, apresentaram valores de umidades relativas menores, chegando até a 16,8%. Esta diferença pode ter contribuído também para que o processo fosse mais rápido nestes últimos ensaios (total de 7 horas) e mais lento no ensaio 1. Além disso, registrou-se uma pequena amplitude térmica entre o início do processo (início da manhã), variando de 20-23 °C, e o final da secagem que correspondia ao final da tarde, quando a temperatura atingiu até 30 °C.

As fotos do produto obtido da matéria-prima proveniente de Registro estão mostradas na Figura 4.4 para fins ilustrativos. Na Figura 4.4(a), têm-se bananas que apresentavam teor de sólidos solúveis na faixa F1 (20,9-21,5 °Brix), enquanto que na Figura 4.4 (b), os *snacks* da banana foram classificados dentro da segunda faixa de °Brix (22,9-23,5).

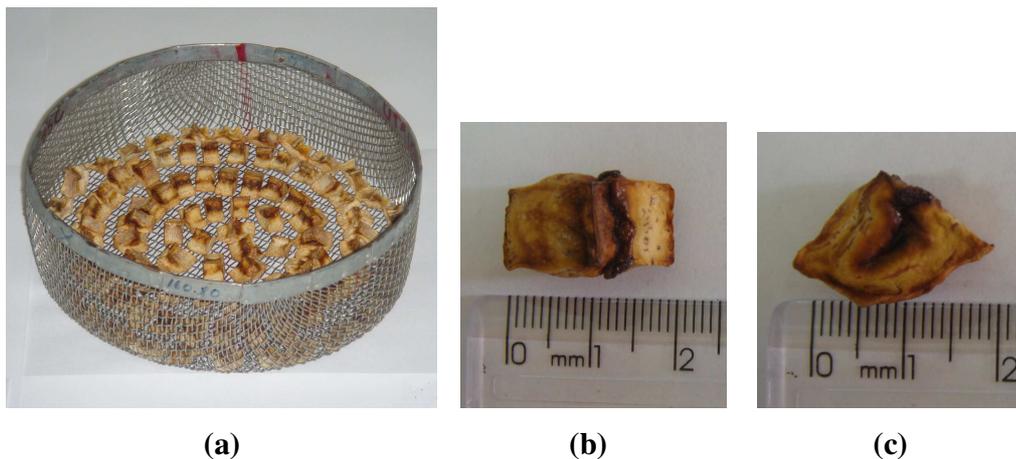


Figura 4.4: (a) bandeja do secador após o processo com o produto final; (b) banana crocante vista de cima e (c) banana crocante vista lateralmente, com aproximadamente 2 cm de comprimento e 1 cm de espessura.

Pode-se perceber que a região central do produto apresenta uma coloração mais acentuada, onde há maior concentração de açúcares, principalmente nas faixas de °Brix F3 e, portanto, a caramelização neste local da banana foi mais intensa. É importante ressaltar que o desenvolvimento da cor de caramelo é uma característica positiva e desejada pelo consumidor deste tipo de produto no mercado nacional.

Para comparar os pedaços de banana fresca a serem secos com aqueles já processados, tem-se a Figura 4.5:

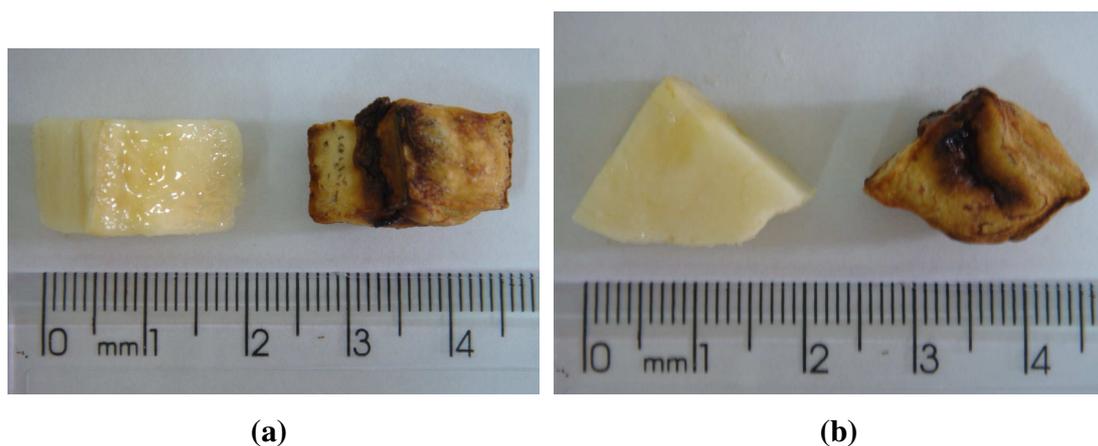


Figura 4.5: (a) Vista de cima e (b) vista lateral

Nesta Figura, nota-se um pequeno aumento de volume da banana após o processo, que é obtido através do *puffing* ocorrido durante a etapa a alta temperatura, além de uma crosta bem seca e crocante.

4.4. Determinações do produto final

4.4.1. Atividade de água (a_w)

A atividade de água da banana crocante está disposta na Tabela 4.10, sendo o valor médio e o desvio-padrão de três medidas:

Tabela 4.10: Atividade de água (a_w) da banana crocante

N° do ensaio	Origem / °Brix	a_w
1	Registro / F3	0,252±0,001
2	Registro / F3	0,210±0,001
3	Registro / F2	0,253±0,001
4	Registro / F2	0,239±0,001
5	Registro / F1	0,289±0,000
6	Registro / F1	0,265±0,001
7	Eldorado / F3	0,243±0,001
8	Eldorado / F3	0,228±0,001
9	Eldorado / F2	0,178±0,002
10	Eldorado / F2	0,247±0,005

A atividade de água do produto final, acima de tudo, foi o ponto indicador do final do método de secagem aplicada, o qual deveria ser inferior a 0,3 (KATZ; LABUZA, 1981).

Em todos os ensaios, essa condição foi alcançada facilmente devido aos testes previamente realizados para prever o tempo total de processo. Os valores obtidos foram em torno de 0,25-0,26; com os extremos de 0,18 para a banana de Eldorado da faixa F2, mesmo sendo submetida a apenas 6 horas de secagem a 70°C, e 0,29 no produto obtido a partir da matéria-prima mais verde originária de Registro. Essas diferenças podem ser

explicadas pela diferença de temperatura e umidade relativa do ar ambiente entre os dias de secagem (Tabela 4.9).

Não foram encontrados trabalhos que avaliassem o valor de atividade de água de banana crocante obtida por este processo de secagem. Entretanto, Ammawath *et al.* (2001), estudaram os efeitos da variedade e grau de maturação sobre as características físico-químicas e sensoriais da banana frita e, para isso, realizaram leituras da a_w do produto antes da embalagem, e encontraram valores de $a_w < 0,4$ para uma das variedades.

4.4.2. Cor instrumental

A média e o desvio-padrão das seis leituras de cada parâmetro de cor da banana crocante do sistema CIELAB (a^* , b^* e L^*) foi calculada para cada ensaio (Tabela 4.11).

Tabela 4.11: Cor instrumental da banana seca do sistema CIELAB

N° do ensaio	Origem / °Brix	a^*	b^*	L^*
1	Registro / F3	9,11±0,32	22,21±0,62	58,77±0,88
2	Registro / F3	7,71±0,12	19,89±0,41	59,80±0,26
3	Registro / F2	7,00±0,21	20,91±0,16	68,15±1,17
4	Registro / F2	7,77±0,18	20,78±0,12	62,51±0,68
5	Registro / F1	6,76±0,19	18,88±0,29	68,35±1,12
6	Registro / F1	7,06±0,08	19,35±0,48	65,08±0,84
7	Eldorado / F3	7,43±0,12	18,92±0,79	58,37±1,81
8	Eldorado / F2	7,92±0,43	19,13±0,49	59,28±1,46
9	Eldorado / F3	6,44±0,36	19,56±0,20	65,87±1,90
10	Eldorado / F2	7,70±0,35	19,84±0,79	61,50±0,23

A luminosidade do produto final obtido com a banana de Registro na faixa de °Brix F3, a mais doce, apresentou-se menor que as demais faixas da mesma origem de matéria-prima. Isto pode ser explicado pelas reações de escurecimento (caramelização e Maillard) que estão diretamente ligadas ao teor de açúcares, ou seja, quanto maior o conteúdo dessas moléculas, mais intenso é o escurecimento. A mesma observação é válida para as frutas de Eldorado, as quais ficaram mais escuras após o processo quando

foram produzidas a partir da matéria-prima mais madura (F3) em comparação a menos madura (F2). Os valores obtidos para as amostras F3 de Registro e Eldorado se assemelharam àqueles determinados por Krokida, Tsami e Maroulis (1998), de 57,0, no qual obteve-se um produto seco através de secagem a ar quente convencional.

Em relação aos valores de a^* , estes ficaram entre 6,5-8 para todos os ensaios, destacando-se o primeiro que produziu uma banana com $a^* > 9$. Da mesma forma ocorreu para as leituras do parâmetro b^* , as quais ficaram em torno de 19-21 em todas as condições, com exceção do ensaio 1, onde se utilizou uma banana proveniente de Registro na faixa mais alta de °Brix e obteve-se um valor acima de 22 para b^* . Ammawath *et al.* (2001) determinaram os valores de a^* da banana desidratada com ar quente e obtiveram 6,32, resultado ligeiramente inferior aos valores encontrados para os produtos obtidos a partir de ambas as origens da matéria-prima. Os resultados obtidos por Krokida, Tsami e Maroulis (1998) e Krokida, Karathanos e Maroulis (2000) para o parâmetro b^* da banana seca produzida por secagem convencional, os quais foram de 12,7 e 10,9, respectivamente, estão bem menores que todos os valores encontrados neste presente estudo.

Nas Figuras 4.6 e 4.7, têm-se os gráficos de cor do produto final, nos quais pode-se observar que, no geral, as amostras obtidas com matéria-prima de Registro apresentam valores de b^* maiores que aquelas produzidas com bananas de Eldorado, evidenciando que após o processo aplicado, as primeiras passam a apresentar a cor “amarela” ligeiramente mais intensa.

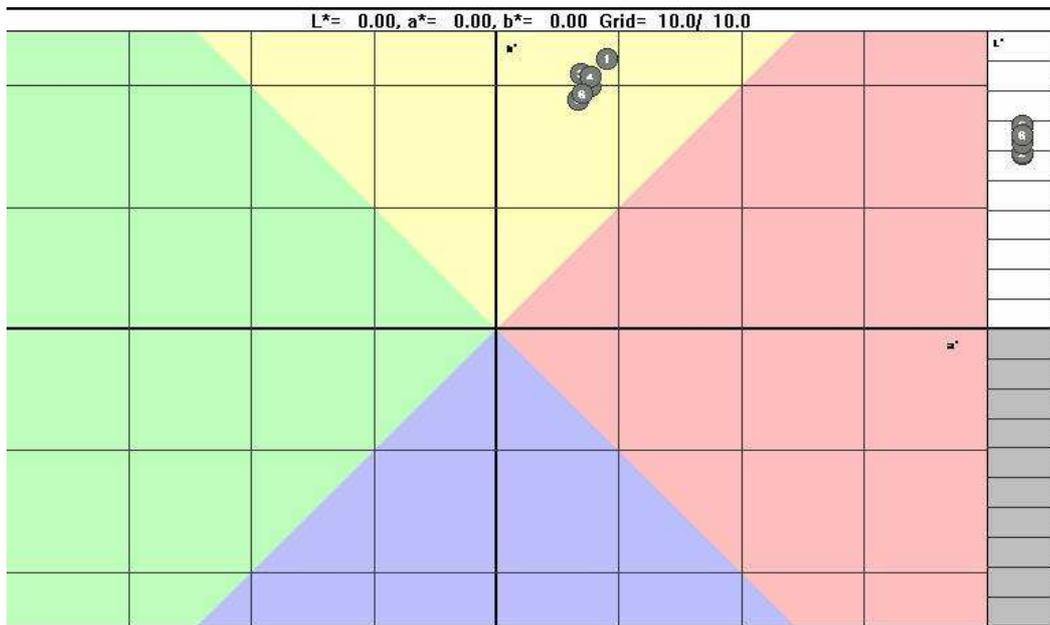


Figura 4.6: Gráfico de cor do produto final obtido a partir da banana nanica procedente de Registro (ensaios 1- 6)

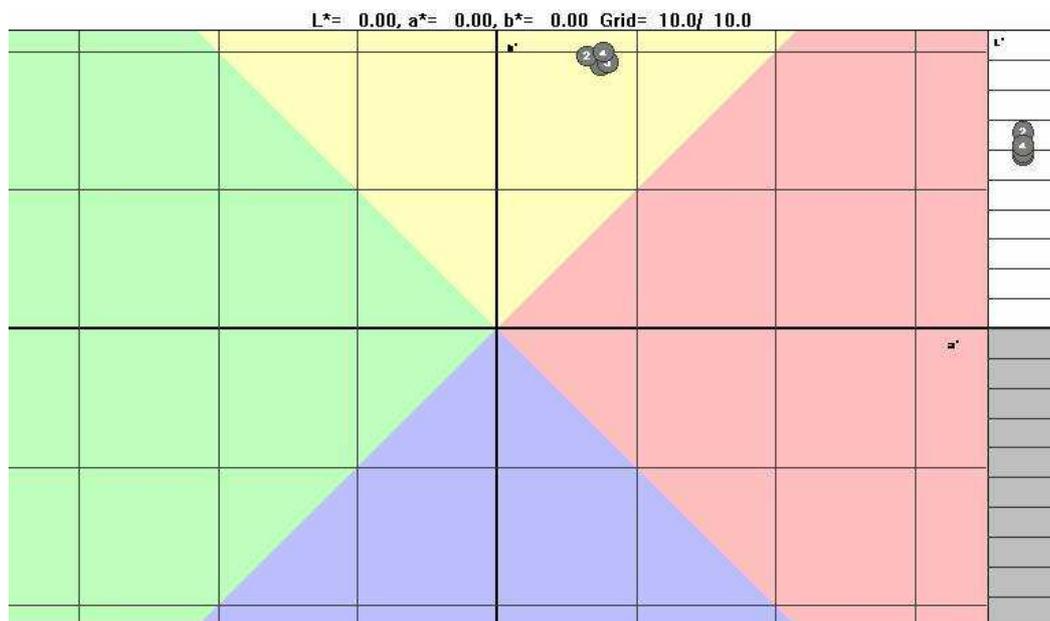


Figura 4.7: Gráfico de cor do produto final obtido a partir da banana nanica procedente de Eldorado (ensaios 7 - 10)

4.4.3. Textura instrumental

4.4.3.1. Curvas de força versus tempo

Com os testes de força sob compressão dos *snacks* finais, foram feitos gráficos de força em Newtons versus tempo de teste em segundos, os quais estão disponíveis no apêndice. Foram realizadas 15 repetições para cada ensaio, pois essas medidas apresentam baixa reprodutibilidade. Na Figura 4.8 é mostrado como ilustração um gráfico com três curvas de força x tempo plotadas na mesma área.

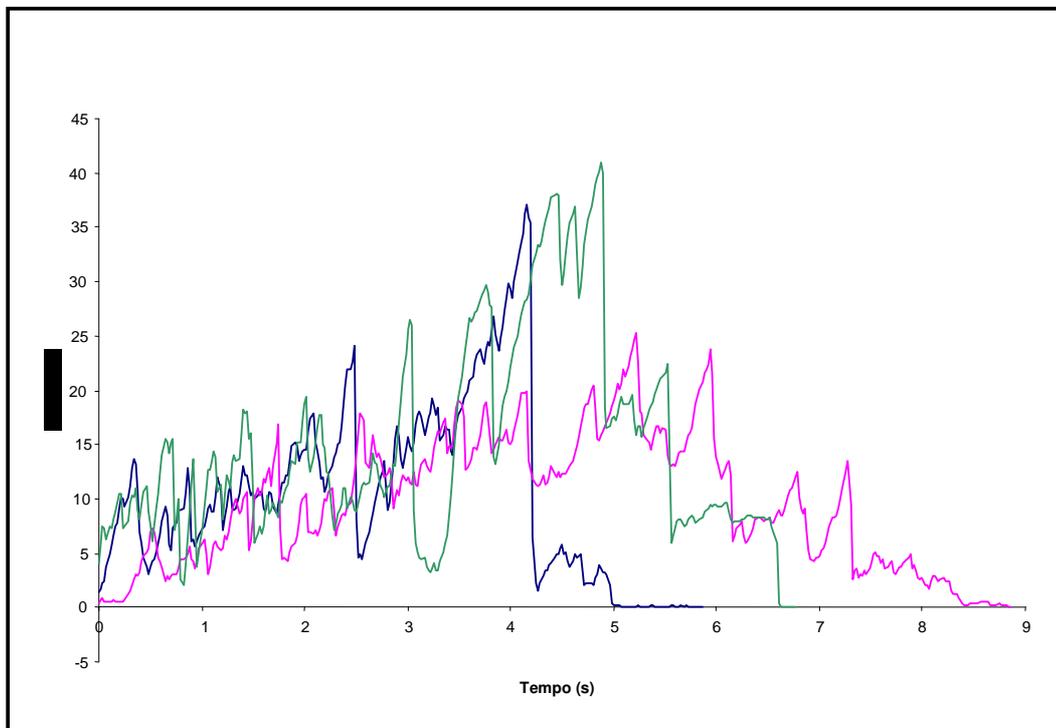


Figura 4.8: Gráfico força (N) x tempo (s) do ensaio 2 com dados de 3 testes de textura.

Observa-se que as curvas apresentam variações de pequena amplitude que poderiam ser considerados erros de determinação. Por este motivo, foi considerado um threshold com valor de 0,1N (Stablemicrosystems, 1996) entre medidas sucessivas para caracterizar um pico. Os inúmeros picos representam quebras sucessivas do material, efeito que pode ser um dos indicadores da crocância em alimentos sólidos (HOFSETZ, 2003; MAZUMDER; ROOPA; BHATTACHARYA, 2007).

Ammawath *et al.* (2001), ao estudarem duas variedades distintas de banana e seus efeitos sobre a crocância do produto obtido após a secagem a ar quente, também encontraram curvas irregulares apresentando vários picos no gráfico de força versus distância percorrida na amostra, pelo probe, durante o teste de textura.

4.4.3.2. Crocância

Para avaliar a crocância do produto final, considerou-se a força máxima (F_{máx}), em Newtons, e o número de picos de cada curva de textura instrumental. Para cada ensaio, obteve-se a média dos 15 testes que estão apresentadas na tabela 4.12:

Tabela 4.12: Força máxima e n° de picos na curva força x tempo (média de 15 testes)

N° do ensaio	Origem / °Brix	F _{máx} (N)				N° de picos			
		Média	Desvio	Máximo	Mínimo	Média	Desvio	Máximo	Mínimo
1	Registro / F3	43,269	17,869	61,005	25,268	24,3	11,8	54	9
2	Registro / F3	36,246	9,988	43,957	24,142	25,3	10,7	46	11
3	Registro / F2	51,377	17,142	69,227	34,952	17,1	6,6	32	6
4	Registro / F2	58,719	69,878	157,571	22,588	24,0	10,1	42	9
5	Registro / F1	57,434	45,765	111,824	20,874	23,9	12,7	45	1
6	Registro / F1	38,746	15,807	56,133	24,573	21,5	9,1	35	7
7	Eldorado / F3	33,112	12,695	45,643	20,253	23,4	9	43	7
8	Eldorado / F3	48,165	25,629	82,201	31,991	16,9	10,2	34	2
9	Eldorado / F2	42,062	23,786	69,974	22,657	24,3	12	50	6
10	Eldorado / F2	36,038	10,908	47,459	25,651	19,9	10	51	9

No geral, a força máxima dos ensaios realizados com as bananas de Eldorado foi menor se comparada àquela obtida com as amostras das frutas de Registro. Isto pode ter ocorrido pela hipótese da primeira banana apresentar maiores quantidades de lipídeos e menores de água que a segunda, o que poderia causar um efeito amenizador da força de ruptura no produto final. Além disso, a matéria-prima de Eldorado também apresentou um teor de amido mais elevado que a banana de Registro dentro do mesmo grau de maturação, fator que pode ter contribuído para um *puffing* mais acentuado e dessa forma, a propriedade de crocância foi mais bem definida. Os valores de força máxima, obtidos nas análises de textura do produto seco obtido por Ammawath *et al.* (2001), os

quais variavam de 10 a 16 Newtons, aproximadamente, foram muito menores que os resultados deste presente trabalho.

Em relação ao número de picos, estes variaram entre 21 e 25, aproximadamente, para todos os ensaios, com exceção das bananas crocantes produzidas com as bananas de Registro na segunda faixa de °Brix (ensaio 3) e com a banana de Eldorado mais madura (ensaio 9). No entanto, o desvio-padrão foi alto em quase todos os ensaios, tanto para a força máxima quanto para o número de picos do gráfico, já que esta análise apresenta pouca reprodutibilidade. Com a obtenção de um alto número de picos de algumas repetições de todos os ensaios, pode-se inferir que o produto final apresentou-se muito crocante.

4.5. Análise Estatística

No intuito de verificar estatisticamente a influência dos parâmetros de composição química da matéria-prima de duas origens e três graus de maturação diferentes sobre a cor e crocância da banana crocante, foi realizada uma análise estatística, através do teste de Wilcoxon. As variáveis de entrada foram a origem da banana, teor de sólidos solúveis, de proteínas, açúcares totais e redutores e cinzas, enquanto que as respostas foram os parâmetros de cor instrumental (a^* , b^* e L^*) e os indicadores de crocância (força máxima em Newtons e número de picos do gráfico de força *versus* tempo obtido na análise de textura).

4.5.1. Mudança dos parâmetros de cor da banana fresca para a crocante

Como explicado na metodologia deste estudo, para verificar se houve alterações significativas nas características de cor da banana após a secagem, foi aplicado o teste de *Wilcoxon* a um nível de significância de 95%.

Em relação à luminosidade (L^*), verificou-se que a banana seca não apresentou alterações estatisticamente significantes. Por outro lado, os valores de a^* aumentaram após o processo, tornando o tom avermelhado mais evidente, ao contrário do parâmetro instrumental b^* que se reduziu com a secagem.

4.5.2. Análise de significância

A seguir, tem-se na Tabela 4.13, a relação das variáveis não-significativas e as significativas, assim como o nível de significância das últimas, para as variáveis respostas força máxima e número de picos do gráfico de força *versus* tempo (textura instrumental), a*, b* e L* da banana seca (cor instrumental).

Tabela 4.13: Análise de significância das variáveis de entrada sobre as respostas

variável	Fmáx		n° de picos		a*		b*	
	significante	nível (%)						
origem	sim	13,6	sim	6,5	não		não	
°Brix	não		sim	6,5	não		não	
aç. redutor	sim	13,6	sim	6,5	sim	1,1	sim	6,3
aç. total	sim	13,6	não		não		não	
amido	não		não		não		não	
proteína	não		não		não		sim	6,3
cinzas	não		não		não		não	

4.5.3. Modelos de Regressão

4.5.3.1. Modelo de Regressão para a força máxima (N)

Para esta variável resposta, as seguintes variáveis de entrada: “origem da banana”, “açúcar redutor” e açúcar “total” foram estatisticamente significantes e, portanto, fazem parte do Modelo de Regressão, acompanhadas de seus respectivos coeficientes.

A equação está descrita a seguir:

$$F_{máx} = 25,5 - 20,2*(origem) - 9,85*(aç. redutor) + 3,75*(aç. total) \text{ [equação 4.1]}$$

Este modelo não explica de maneira satisfatória a variabilidade do efeito, visto que o valor do coeficiente R² foi de 36,6% ao alto nível de significância de 13,6%.

A Tabela 4.14 apresenta a análise de variância (ANOVA) para a força máxima.

Tabela 4.14: ANOVA para a força máxima

Fonte de variação	GL	SS	MQ	F	P
Regressão	3	383,67	127,89	2,73	0,136
Erro residual	6	280,96	46,83		
Total	9	664,64			

4.5.3.2. Modelo de Regressão para o número de picos

O Modelo de Regressão que melhor se ajustou à resposta “número de picos”, o qual está diretamente relacionado à crocância, está expresso na equação 4.2:

$$N^{\circ} \text{ picos} = 19,0 + 5,39*(\text{origem}) - 7,04*(\text{Brix}) + 2,90*(\text{aç. redutor}) \quad [\text{equação 4.2}]$$

Este modelo possui um valor para R^2 melhor que o modelo que explica a força máxima, porém ainda baixo, pois apenas 51,4% da variação dos dados experimentais são explicados por ele. Todavia, levando-se em conta o número de ensaios (10) e o nível de significância de 6,5%, pode-se considerar um modelo razoável.

A Análise de Variância para a variável resposta “número de picos” está descrita na Tabela 4.15:

Tabela 4.15: ANOVA para o n° de picos obtidos na textura instrumental

Fonte de variação	GL	SS	MQ	F	P
Regressão	3	56,860	18,953	4,17	0,065
Erro residual	6	27,240	4,540		
Total	9	84,100			

4.5.3.3. Modelos de Regressão a* e b* da banana seca

Uma vez determinadas quais variáveis de cor são modificadas de modo significativo através do processo aplicado, determinaram-se os Modelos de Regressão para cada parâmetro (a* e b*), que identificam quais as causas de tal comportamento. As equações 4.3 e 4.4 representam tais modelos e as Tabelas 4.16 e 4.17 apresentam as análises de variâncias realizadas.

$$a^* (\text{seca}) = 5,88 + 0,277*(\text{aç. redutor}) \quad [\text{equação 4.3}]$$

$$b^* (\text{seca}) = 20,9 + 0,253*(\text{aç. redutor}) - 1,89*(\text{proteína}) \quad [\text{equação 4.4}]$$

Tabela 4.16: ANOVA para o parâmetro de cor instrumental a* (CIELAB)

Fonte de variação	GL	SS	MQ	F	P
Regressão	1	2,9018	2,9018	10,84	0,011
Erro residual	8	2,1424	0,2678		
Total	9	5,0442			

Tabela 4.17: ANOVA para o parâmetro de cor instrumental b* (CIELAB)

Fonte de variação	GL	SS	MQ	F	P
Regressão	2	5,5385	2,7692	4,23	0,063
Erro residual	7	4,58/55	0,6551		
Total	9	10,1240			

O Modelo de Regressão para a* (seca) possui um valor razoável de R² (52,2%), porém seu p-valor é baixo (0,011). Já o modelo de b* (seca) apresentou o valor mais baixo de R² dentre todos os modelos de regressão, com apenas 41,8% da variação dos resultados da resposta sendo explicados por ele. É provável que a pequena quantidade de dados sobre a amostra (número de ensaios) seja uma das razões da predição de uma equação que não cobre a maior parte da variação do efeito, no caso o parâmetro de cor instrumental b*.

5. CONCLUSÕES

A) Com o mesmo grau de maturação, a matéria-prima originária de Eldorado apresentou maior teor de amido e proteína do que aquela procedente de Registro. Com relação à quantidade de cinzas, no geral, as bananas de origens e graus de maturação distintos apresentaram valores muito diferentes.

B) No intervalo de tempo estudado para a etapa HTST, de 8 a 20 minutos, aqueles que produziram as melhores características visuais de *puffing* e cor na banana foram 16, 17 e 18 minutos. Este resultado permitiu selecionar o tempo de 18 minutos, por ser, dentre os 3 mencionados, o maior tempo sem que ocorresse escurecimento extremo e, simultaneamente, mantendo a estrutura dos pedaços expandidos necessários à produção de *snacks* crocantes.

C) A segunda etapa de secagem, com redução gradual da temperatura de 150 para 70°C, mostrou ser fundamental para manutenção da estrutura expandida. O tempo ideal para esta fase de arrefecimento foi de 50 a 60 min.

D) O tempo total de processo para atingir atividade de água (a_w) < 0,3, variou de 7 a 9 horas.

E) Quanto à cor instrumental do produto final, ambas as origens produziram bananas mais escuras (L^* mais baixo) com o maior grau de maturação. Destacou-se o ensaio 1, no qual utilizou-se matéria-prima vinda de Registro na faixa de °Brix mais alta, por apresentar maiores valores de a^* e b^* .

F) As curvas de textura instrumental de força versus tempo, para todos os ensaios, apresentaram inúmeros picos que traduzem quebras sucessivas do material, indicando a propriedade de crocância. Destacou-se a banana crocante obtida a partir da matéria-prima de Registro com 20,9-21,5°Brix, que apresentou valores de força máxima no

teste instrumental de textura acima de 160 N para algumas repetições, resultado muito acima das demais condições.

G) Na análise estatística dos dados, através do teste não-paramétrico de Wilcoxon, concluiu-se que as variáveis significantes para a crocância foram a origem e o grau de maturação da matéria-prima, assim como seu teor de açúcares totais e redutores. Já o conteúdo de açúcares redutores e proteínas da banana nanica afetou significativamente os parâmetros de cor instrumental da banana crocante.

6. SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

A) Estudo de viabilidade econômica que englobe uma análise de custo energético do processo a fim de quantificar a real redução de consumo de energia, no sentido de aplicá-lo em escala industrial. Seria interessante também, realizar uma comparação entre a banana crocante liofilizada comercial com aquela obtida através do modo de secagem proposto neste trabalho.

B) Análise Sensorial do produto obtido a partir de banana “in natura” com diferentes composições e graus de maturação para avaliar a aceitação do consumidor, determinando dessa forma, as características de cor, crocância, aparência geral e sabor. Além disso, é relevante realizar a correlação dos resultados sensoriais com os instrumentais.

C) Repetição dos ensaios realizados neste trabalho para a aplicação do teste Tukey e, conseqüentemente, a obtenção de um resultado estatístico mais preciso, partindo-se do princípio de que os resultados estatísticos deste estudo foi apenas um indicativo.

D) Combinação do processo com outras técnicas de secagem tais como desidratação osmótica e/ou microondas a fim de reduzir mais o tempo de secagem e melhorar as propriedades finais do produto.

E) Testes do mesmo processo proposto com outras frutas ou outros alimentos.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADÃO, R., C.; GLÓRIA, M., B., A. Bioactive amines and carbohydrate changes during ripening of “prata” banana (*Musa acuminata* x *M. balbisiana*). **Food Chemistry**. 90 (4): 705-711, 2005.

AGUILERA, J., M.; CHIRALT, A.; FITO, P. Food dehydration and product structure. **Trends in Food Science and Technology**. 14: 432-437, 2003.

ALVES, E. J. *A cultura da banana: aspectos técnicos, socioeconômicos e agroindustriais*. 2ª edição. Embrapa-SPI: Brasília, pp. 85-86, 91, 533, 542, 564, 574, 1999.

AMMAWATH, W.; CHE MAN, Y., B.; YUSOF, S.; RAHMAN, R., A. Effects of variety and stage of fruit ripeness on physicochemical and sensory characteristics of deep-fat-fried bananas chips. **Journal of the Science of Food and Agriculture**. 81: 1166-1171, 2001.

ANTONOVA, I.; MALLIKARJUNAN, P.; DUNCAN, S., E. Correlating objective measurements of crispness in breaded fried chicken nuggets with sensory crispness. **Journal of Food Science**. 68 (4): 1308-1315, 2003.

A.O.A.C. Official methods of analysis, 16ª edição. **Association of Official Analytical Chemists**. Washington, 1997.

BAARDSETH, P.; ROSENFELD, H., J.; SUNDT, T., W.; SKREDE, G.; LEA, P.; SLINDE, E. Evaluation of carrot varieties for production of deep fried carrot chips – II. Sensory aspects. **Food Research International**. 28 (6): 513-519, 1995.

BERG, C., V., D. Water activity. In: MACCARTHY, D. *Concentration and drying of foods. The Proceeding of the Kellog Foundation 2nd International Food Research Symposium*. 1^a edição. Elsevier Applied Science Publishers Ltd, pp. 11-12, 24, 1986.

BLIGH, E.G.; DYER, W.J. (1959). A rapid method of total lipid extraction and purification. *Canadian Journal of Biochemistry Physiology*. 37: 911-917.

BORWANKAR, R., P. Rheology of Foods. In: BORWANKAR, R., P.; SCHOEMAKER, C., F. *Symposium on Rheology of Foods e Conference of Foods Engineering*. Chicago, EUA. Elsevier Applied Science Publishers Ltd, pp.10, 1990.

BOUDHRIOUA, N.; MICHON, C.; CUVELLIER, G.; BONAZZI, C. Influence of ripeness and air temperature on changes in banana texture during drying. *Journal of Food Engineering*. 55: 115-121, 2002.

BOURNE, M. Relation between texture and mastication. *Journal of Texture Studies*. 35 (2):125-143, 2004.

CÁNOVAS, G., V., B.; MERCADO, H., V. *Dehydration of Foods*. Chapman & Hall: New York (NY), EUA, pp. 2-3, 1996.

CARDOSO, C., S., B.; Secagem de fatias de banana em leito vibro-fluidizado a altas temperaturas por curto tempo. **Dissertação (Mestrado em Engenharia Química)** Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas (SP), 1998.

CARVALHO, C., R., L.; MANTOVAN, D., M., B.; CARVALHO, P., R., N.; MORAES, R., M. *Análises químicas de alimentos – Manual técnico*. ITAL, Campinas, 1990.

CHEN, C., R.; RAMASWAMY, H., S. Color and texture change kinetics in ripening bananas. **Lebensmittel Wissenschaft und Technologie**. 35 (5): 415-419, 2002.

CHUA, K., J.; MUJUMDAR, A., S.; CHOU, S., K.; HAWLADER, M., N., A.; HO, J., C. Convective drying of banana, guava and potato pieces: effect of cyclical variations of air temperature on drying kinetics and color change. **Drying Technology**. 18 (4&5): 907-936, 2000.

CLYDESDALE, F., M.; Color perception and food quality. **Journal of Food Chemistry**. 14: 61-74, 1991.

DAUDIN, J., D. Calcul des cinétiques de séchage par l'air chaud des produits biologiques solides. *Sciences des Aliments - Journal International de Science et de Technologie des Aliments*. 3: 1-36, 1983.

DEMIREL, D.; TURHAN, M. Air-drying behavior of Dwarf Cavendish and Gros Michel banana slices. **Journal of Food Engineering**. 59: 1-11, 2003.

DESROSIER, N., W.; DESROSIER, J., N. *The Technology of Food Preservation*. 4ª edição. AVI Publishing Company, INC, Westport, Connecticut, EUA, pp. 220, 237, 243, 1997.

DUIZER, L. A review of acoustic research for studying the sensory perception of crisp, crunchy and crackly textures. **Trends in Food Science & Technology**. 12: 17-24, 2001.

EMBRAPA. 2003. Disponível em
[http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Banana/BananaAmazonas/c
lima.htm](http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Banana/BananaAmazonas/c
lima.htm).

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Acesso em Março de 2007.

FAO. 2005. Disponível em

<http://www.fao.org/es/ess/top/commodity.html?item=486&lang=en&year=2005>

Food and Agriculture Organization of the United Nations. Acesso em: Março de 2007.

FERNANDES, F., A., N.; RODRIGUES, S.; GASPARETO, O., C., P.; OLIVEIRA, E., L. Optimization of osmotic dehydration of bananas followed by air-drying. **Journal of Food Engineering.** 77 (1): 188-193, 2006.

FERNANDES, K., M.; CARVALHO, V., D.; CAL-VIDAL, J. A Research Note - Physical changes during ripening of Silver Bananas. **Journal of Food Science.** 44, 1979.

FILLION, L.; KILCAST, D. Consumer perception of crispness and crunchiness in fruits and vegetables. **Food Quality and Preference.** 13: 23-29, 2002.

GOSWAMI, B.; BORTHAKUR, A. Chemical and biochemical aspects of developing culinary banana (Musa ABB) “Kachkal”. **Food Chemistry.** 55 (2): 169-172, 1996.

GREENSMITH, M. *Practical Dehydration.* 2ª edição. Woodhead Publishing Limited: Cambridge, England, pp. 169, 1998.

HABER PÉREZ, V. Estudo do comportamento da temperatura de bananas durante o processo de secagem. **Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola).** Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas (SP), 2003.

HEIDENREICH, S.; JAROS, D.; ROHM, H.; ZIEMS, A. Relationship between water activity and crispness of extruded rice crisps. **Journal of Texture Studies.** 35 (6): 621-633, 2004.

HOFSETZ, K. Obtenção de banana nanica (*Musa acuminata* Colla subgrupo *Cavendish*) crocante a partir de secagem a alta temperatura. **Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos)**. Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas (SP), 2003.

HOFSETZ, K.; LOPES, C., C.; HUBINGER, M., D.; MAYOR, L.; SERENO, A., M. Changes in physical properties during air drying of bananas on applying a HTST pulse. **Journal of Food Engineering**, 2007.

HOFSETZ, K.; LOPES, C., C.; HUBINGER, M., D.; MAYOR, L.; SERENO, A., M. Shrinkage and porosity change in bananas during a combination of a high temperature pulse in a hot air drying process. **15th International Drying Symposium**. pp: 1545-1550, 2006.

JAYAMARAN, K., S.; DAS GUPTA, D., K. Dehydration of fruits and vegetables – recent developments in principles and techniques. **Drying Technology**. 10 (1): 1-50, 1982.

KATZ, E., E.; LABUZA, T., P. Effect of water activity on the sensory crispness and mechanical deformation of snack food products. **Journal of Food Science**. 46: 403-409, 1981.

KROKIDA, M., K.; KARATHANOS, V., T.; MAROULIS, Z., B. Compression analysis of dehydrated agricultural products. **Drying Technology**. 18 (1&2): 395-408, 2000.

KROKIDA, M., K.; KARATHANOS, V., T.; MAROULIS, Z., B. Effect of osmotic dehydration on color and sorption characteristics of apple and banana. **Drying Technology**. 18 (4&5): 937-950, 2000.

KROKIDA, M., K.; TSAMI, E.; MAROULIS, Z., B. Kinetics on color changes during drying of some fruits and vegetables. **Drying Technology**. 16 (3-5): 667-668, 1998.

LEES, R. *Laboratory Handbook of Methods of Food Analysis*, 2ª edição. Leonard Hill, London: pp. 14,15, 26, 91, 116-119, 1971.

LEITE, J., B.; MANCINI, M., C.; BORGES, S., V. Effect of drying temperature on the quality of fried bananas cv. prata and d'água. **Lebensmittel Wissenschaft und Technologie**. 40 (2): 319-323, 2007.

LUCAS, V. Obtenção de fatias de banana desidratada crocantes através da pré-secagem a altas temperaturas e curto tempo em leito fluidizado. **Dissertação (Mestrado em Engenharia Química)**. Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), Campinas (SP), 1996.

LUSAS, E., W.; ROONEY, L., W. *Snack foods processing*. CRC Press, Florida, EUA, pp. 34, 219, 2001.

LUYTEN, H.; PLIJTER, J., J.; VLIET, T., V. Crispy/crunchy crusts of cellular solid foods: a literature review with discussion. **Journal of Texture Studies**. 35 (5): 445-492, 2004.

LUYTEN, H.; VLIET, T., V. Acoustic emission, fracture behavior and morphology of fry crispy foods – a discussion article. **Journal of Texture Studies**. 37 (3): 221-240; 2006.

MACDOUGALL, D., B. *Colour in Foods: Improving Quality*. Cambridge, England. Woodhead Publishing Limited and CRC Press, LLC, 2002.

MACKINNEY, G.; LITTLE, A., C. *Color of Foods*. Westport, Connecticut (EUA): The AVI Publishing Company, Inc, 308p, 1962.

MAZUMDER, P.; ROOPA, B., S., BHATTACHARYA, S. Textural attributes of a model snack food at different moisture contents. **Journal of Food Engineering**. 79 (2): 511-516, 2007.

MEDINA, J., C.; BLEINROTH, E., W.; MARTIN, Z., J.; TRAVAGLINI, D., A.; OKADA, M.; QUAST, D., G.; HASHIZUME, T.; RENESTO, O., V.; MORETTI, V., A. *Banana: da cultura ao processamento e comercialização*. 2ª edição. Campinas (SP), ITAL: pp. 7, 10, 21, 23, 1985

MEDLICOTT, A., P.; SEMPLE, A., J.; THOMPSON, A., J.; BLACKBOURNE, H., R.; THOMPSON, A., K. Measurement of color changes in ripening bananas and mangoes by instrumental, chemical and visual assessments. **Tropical Agriculture (Trinidad)**. 69 (2): 161-166, 1992.

MENDOZA, F.; AGUILERA, J., M. Application of image analysis for classification of ripening bananas. **Journal of Food Science**. 69 (9): E471-E477, 2004.

MOREIRA, R., S. *Banana: Teoria e Prática de Cultivo*. 1ª edição. Fundação Cargill: São Paulo (SP), pp. 6, 1987.

MUJUMDAR, A., S. Drying Fundamentals. In: BAKER, C., G., J. *Industrial Drying of Foods*. 1ª edição. Chapman & Hall: London, UK, pp. 7, 1997.

NATH, A.; CHATTOPADHYAY, P., K.; MAJUMDAR, G., C. High temperature short time air puffed ready-to-eat (RTE) potato snacks: process parameter optimization. **Journal of Food Engineering**. 80 (3): 770-780, 2007.

NEPA – NÚCLEO DE ESTUDOS E PESQUISAS EM ALIMENTAÇÃO. *Tabela brasileira de composição de alimentos*. NEPA-Unicamp, Campinas (SP), 105p, 2006.

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

NIJHUIS, H., H.; TORRINGA, H., M.; MURESAN, S., YUKSEL, D., LEGUIJT, C.; KLOEK, W. Approaches to improving the quality of dried fruit and vegetables. **Trends in Food Science and Technology**. 9: 13-20, 1998.

NURSTEN, H., E. Maillard browning reactions in dried foods. In: MACCARTHY, D. *Concentration and drying of foods The Proceeding of the Kellog Foundation 2nd International Food Research Symposium*. 1^a edição. Elsevier Applied Science Publishers Ltd, pp. 55-56, 59, 1986.

PARMIER, B., V.; ROUDAUT, G.; DACREMONT, C.; LEMESTE, M.; MITCHELL, J., R. Understanding the texture of low moisture cereal products: mechanical and sensory measurement of crispness. **Journal of Science Food Agriculture**. 80:1679-1685, 2000.

PEREIRA, N., R.; MARSAIOLI Jr, A.; AHRNE, L., M. Effect of microwave power, air velocity and temperature on the final drying of osmotically dehydrated bananas. **Journal of Food Engineering**. 81 (1): 79-87, 2007.

POMERANZ, Y.; MELOAN, C., E. *Food Analysis – Theory and Practice*. 3^a edição. Aspen Publishers, Inc., Maryland, EUA, pp. 87-92, 2000.

PRABHA, T., N.; BHAGYALAKSHMI, N. Carbohydrate metabolism in ripening banana fruit. **Phytochemistry**. 48 (6): 915-919, 1998.

RAGHAVAN, G., S., V.; ORSAT, V. Recent advances in drying of bio-materials for superior quality bio-products. **15th International Drying Symposium**. pp: 44-53, 2006.

ROUDAUT, G.; DACREMONT, C.; VALLÉS PÀMIES, B.; COLAS, B.; LE MESTE, M. Crispness: a critical review on sensory and material science approaches. **Trends in Food Science & Technology**. 13: 217-227, 2002.

SEGNINI, S.; DEJMEK, P.; OESTE, R. Relationship between instrumental and sensory analysis of texture and color of potato chips. **Journal of Texture Studies**. 30: 677-690, 1999.

SCHULTZ, E., L.; MAZZUCO, M., M.; MACHADO, R., A., F.; BOLZAN, A.; QUADRI, M., B.; QUADRI, M., G., N. Effect of pre-treatments on drying, density and shrinkage of apple slices. **Journal of Food Engineering**. 78: 1103-1110, 2007.

SHARMA, S., K.; MULVANEY, S., J.; RIZVI, S., S., H. **Food Process Engineering – Theory and Laboratory Experiments**. John Wiley & Sons Publication, INC., Cornell University, Ithaca, NY, EUA, pp. 216-218, 2000.

SMITH, P., G. **Introduction to Food Process Engineering**. Kluwer Academic/Plenum Publishers, NY, EUA, pp. 318-320, 328, 2003.

SOKHANSANJ, S.; JAYAS, D., S. Drying of Foodstuffs. In: MUJUMDAR, A. S. **Handbook of Industrial Drying**. Volume 1. 2ª edição. Marcel Dekker, Inc.: New York (NY), USA, pp. 604, 1995.

STABLE MICROSYSTEMS LTD. **Measure of fracturability of french fries extrudate snack using a 5 bladed Kramer shear cell**. Stable Microsystems Ltd., 1996.

STAT JÚNIOR – estudos aplicados à estatística. **Instituto de Matemática e Estatística** – Unicamp. 2007.

SZCZESNIAK, A., S. **Texture is a sensory property**. Food Quality Preference. 13: 215-225, 2002.

TRIEBOLD, H., O.; AURAND, L., W. *Food Composition and Analysis*. Van Nostrand Reinhold: New York (NY), EUA, pp. 415, 1987.

TSAMI, E.; KATSIOTI, M. Drying kinetics for some fruits: predicting of porosity and color during dehydration. **Drying Technology**. 18 (7): 1559-1581, 2000.

UFRJ – Texto extraído de “Microbial Ecology of Foods”, vol. I – Factors Affecting Life Death of Microorganisms. Editado pela I.C.M.S.F., 1980. Disponível em http://acd.ufrj.br/consumo/disciplinas/tt_reducaoaw.htm. Acesso em 2007.

UNCTAD. Info Comm Market Information in the Commodities Area. Disponível em <http://www.unctad.org/infocomm/anglais/banana/characteristics.htm#descript>
United Nations Conference on Trade and Development. Acesso em 2007.

UNIJUI - Química Industrial de Alimentos - *Introdução à análise de alimentos*. Disponível em www.sinprors.org.br. Acesso em 2007.

VARNALIS, A., I.; BRENNAN, J., G.; MACDOUGALL, D., B.; GLIMOUR, S., G. Optimization of high temperature puffing of potato cubes using response surface methodology. **Journal of Food Engineering**. 61 (2): 153-163, 2004.

WALDRON, K., W.; SMITH, A., C.; PARR, A., J.; Ng, A.; PARKER, M., L. New approaches to understanding and controlling cell separation in relation o fruit and vegetable texture. **Trends in Food Science & Technology**. 8 (7): 213-220, 1997.

WARD, G.; NUSSINOVITCH, A. Peel gloss as a potential indicator of banana ripeness. **Lebensmittel Wissenschaft und Technologie**. 29: 289-294, 1996.

WILKINSON, C.; DIJKSTERHUIS, G., B.; MINEKUS, M. From food structure to texture. **Trends in Food Science & Technology**. 11: 442-450, 2000.

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

APÊNDICE

**Gráficos de força *versus* tempo de todas as condições deste experimento
(ensaios 1 ao 10)**

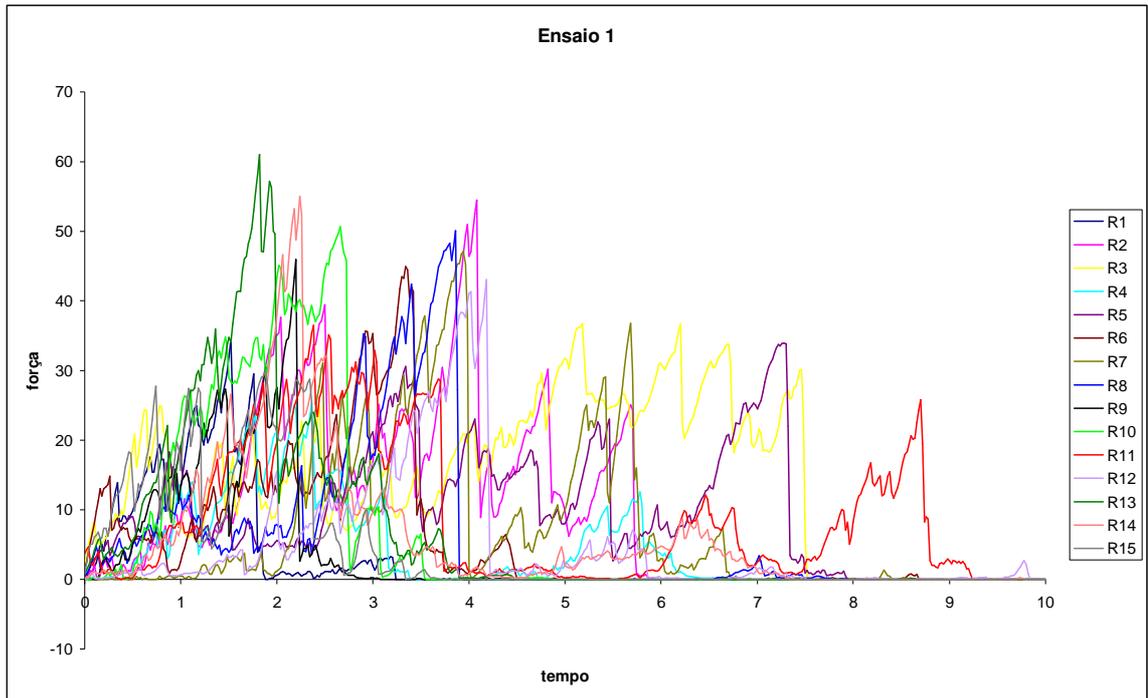


Figura A.1: Gráfico de força versus tempo do teste de força em compressão obtido na análise de textura instrumental para o ensaio 1.

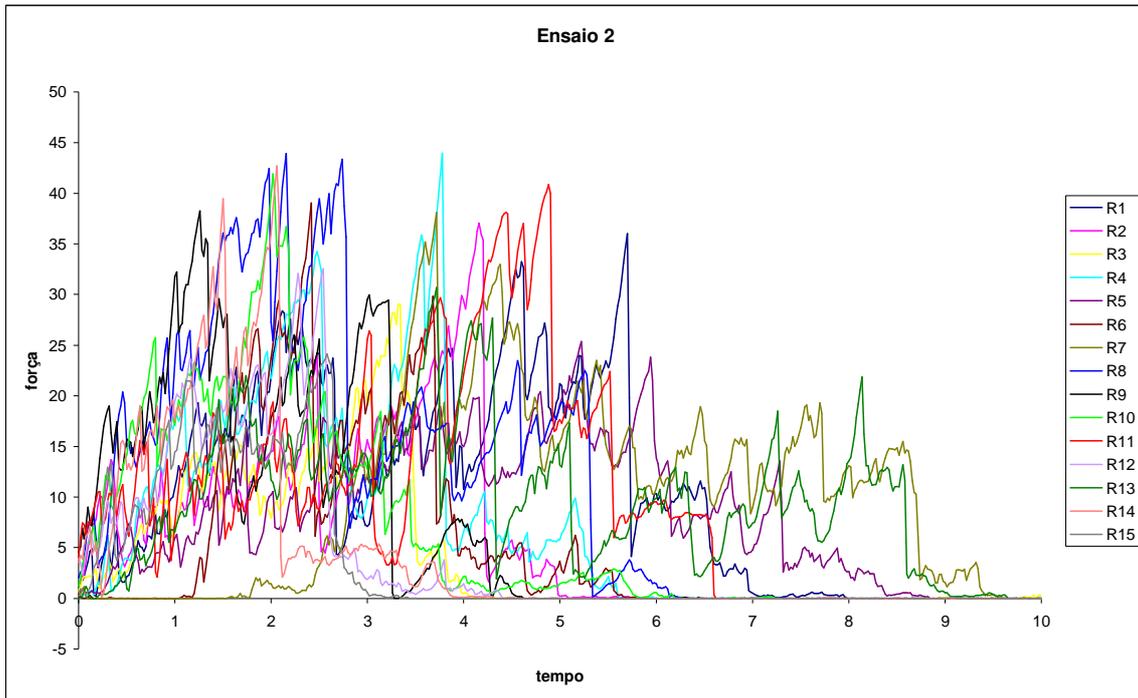


Figura A.2: Gráfico de força versus tempo do teste de força em compressão obtido na análise de textura instrumental para o ensaio 2.

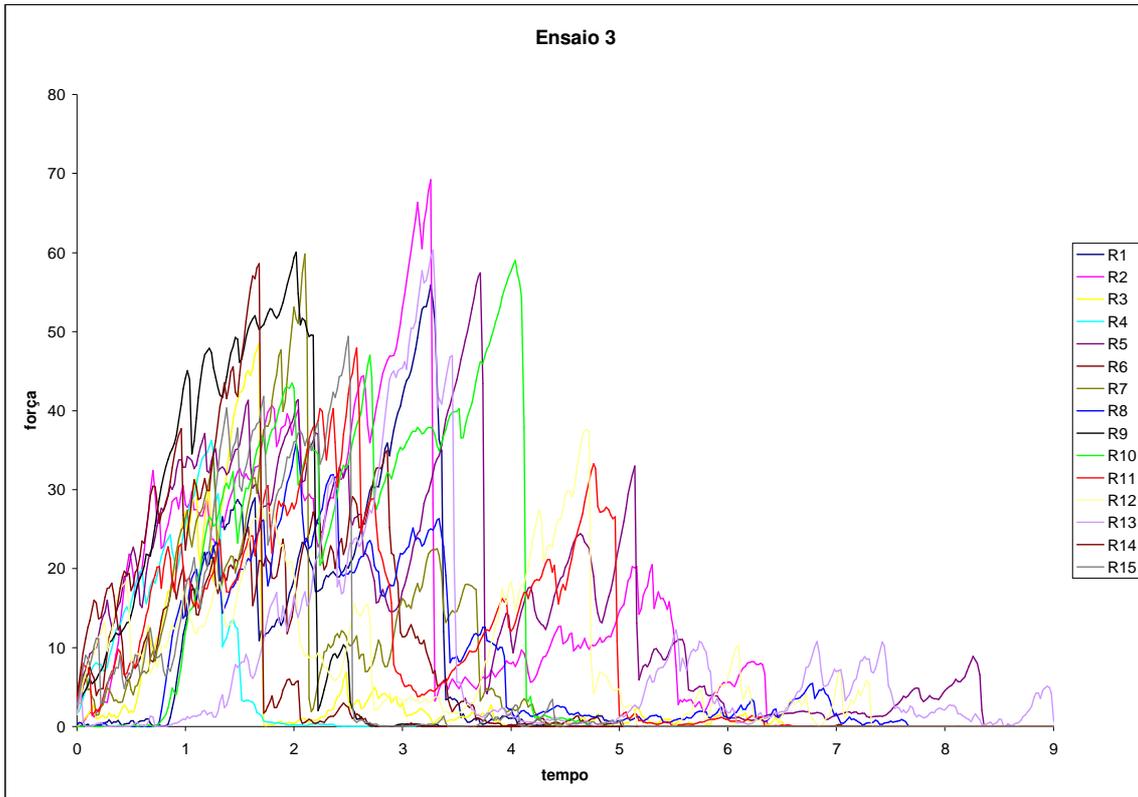


Figura A.3: Gráfico de força versus tempo do teste de força em compressão obtido na análise de textura instrumental para o ensaio 3.

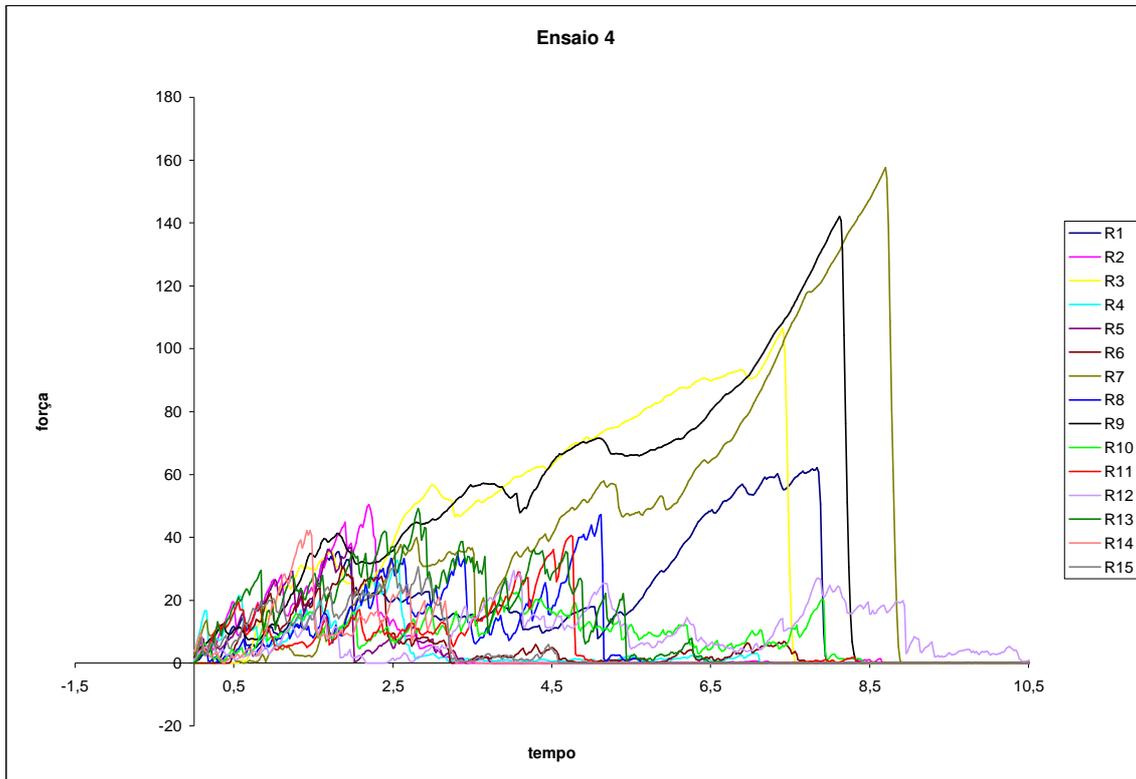


Figura A.4: Gráfico de força versus tempo do teste de força em compressão obtido na análise de textura instrumental para o ensaio 4.

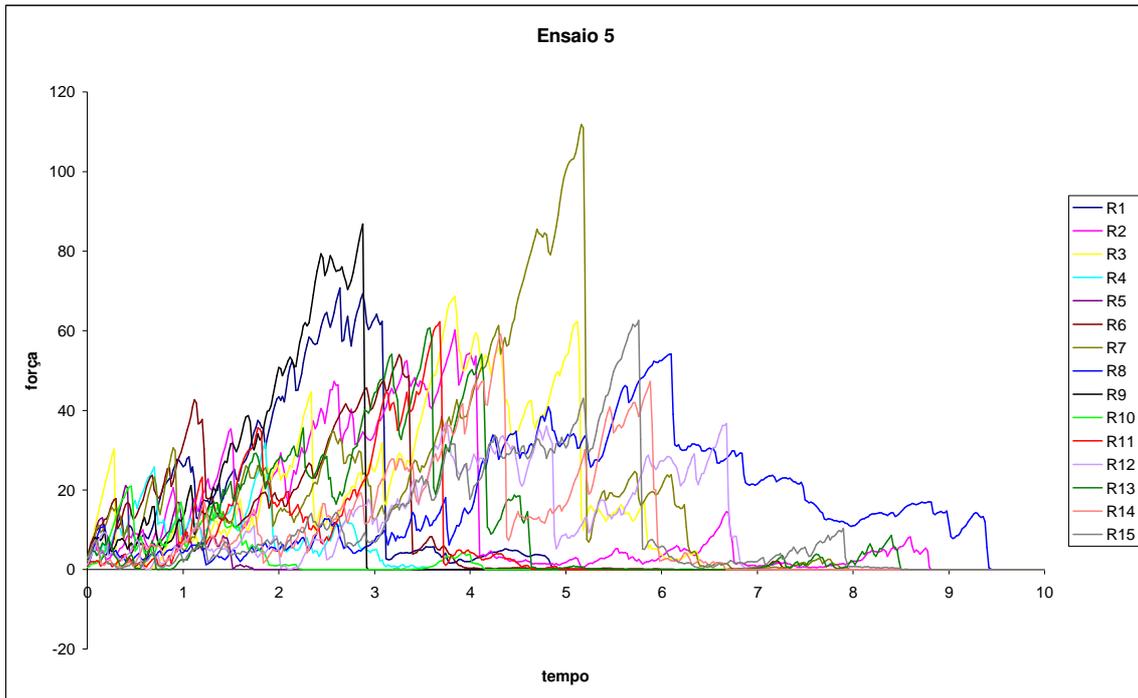


Figura A.5: Gráfico de força versus tempo do teste de força em compressão obtido na análise de textura instrumental para o ensaio 5.

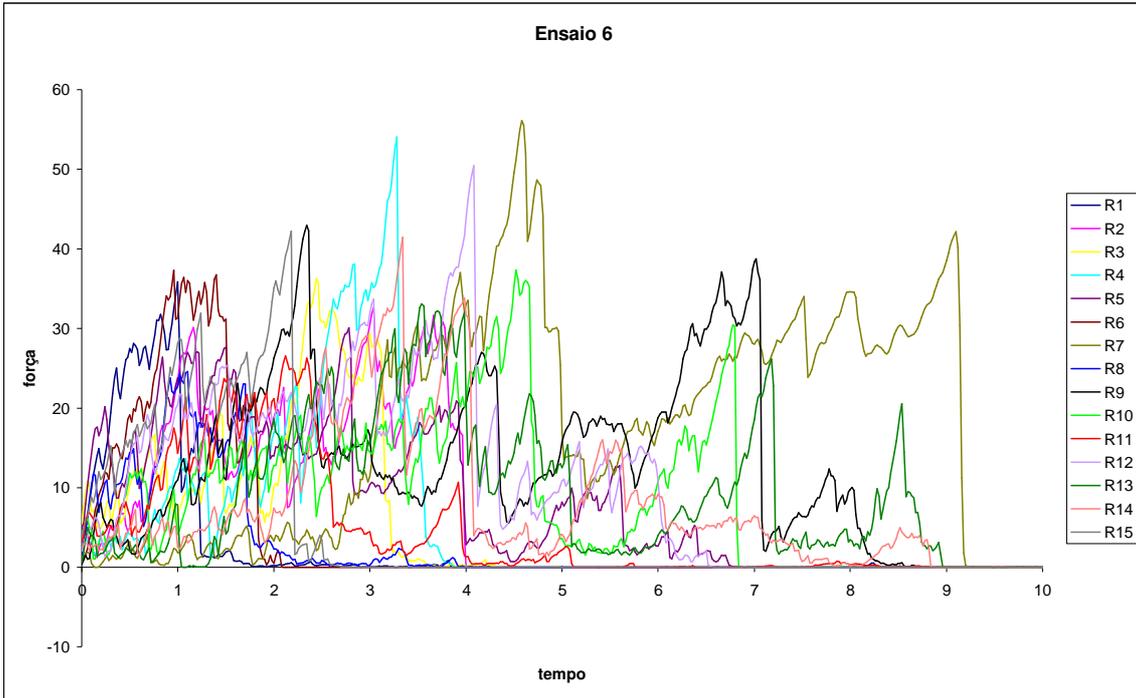


Figura A.6: Gráfico de força versus tempo do teste de força em compressão obtido na análise de textura instrumental para o ensaio 6.

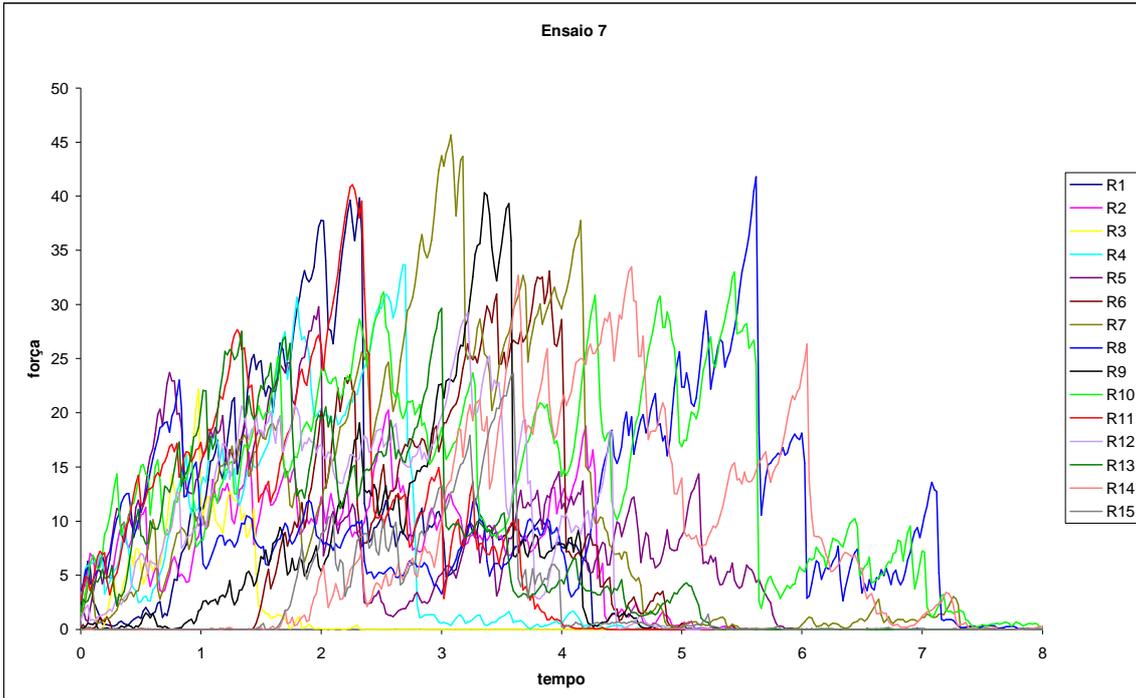


Figura A.7: Gráfico de força versus tempo do teste de força em compressão obtido na análise de textura instrumental para o ensaio 7.

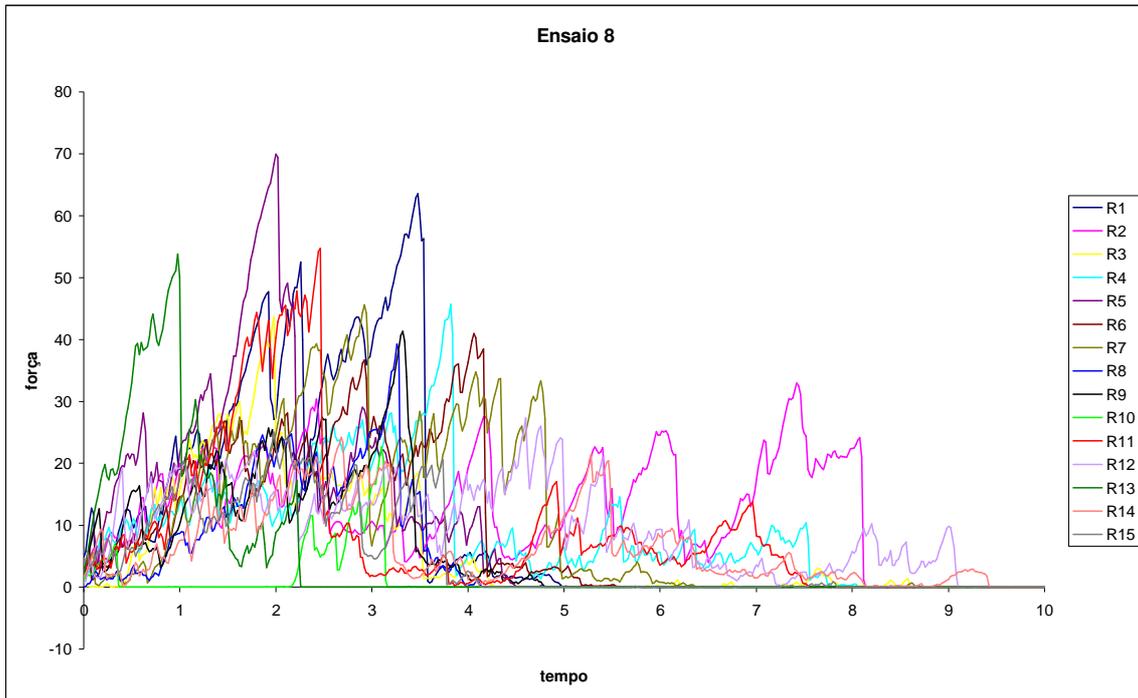


Figura A.8: Gráfico de força versus tempo do teste de força em compressão obtido na análise de textura instrumental para o ensaio 8.

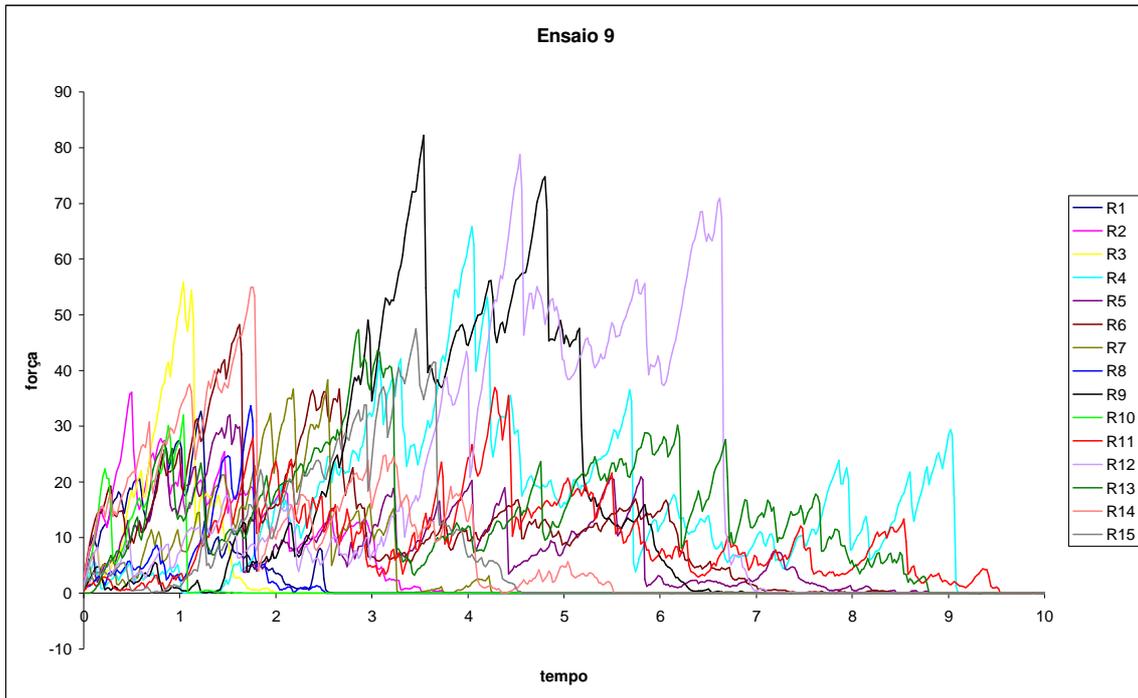


Figura A.9: Gráfico de força versus tempo do teste de força em compressão obtido na análise de textura instrumental para o ensaio 9.

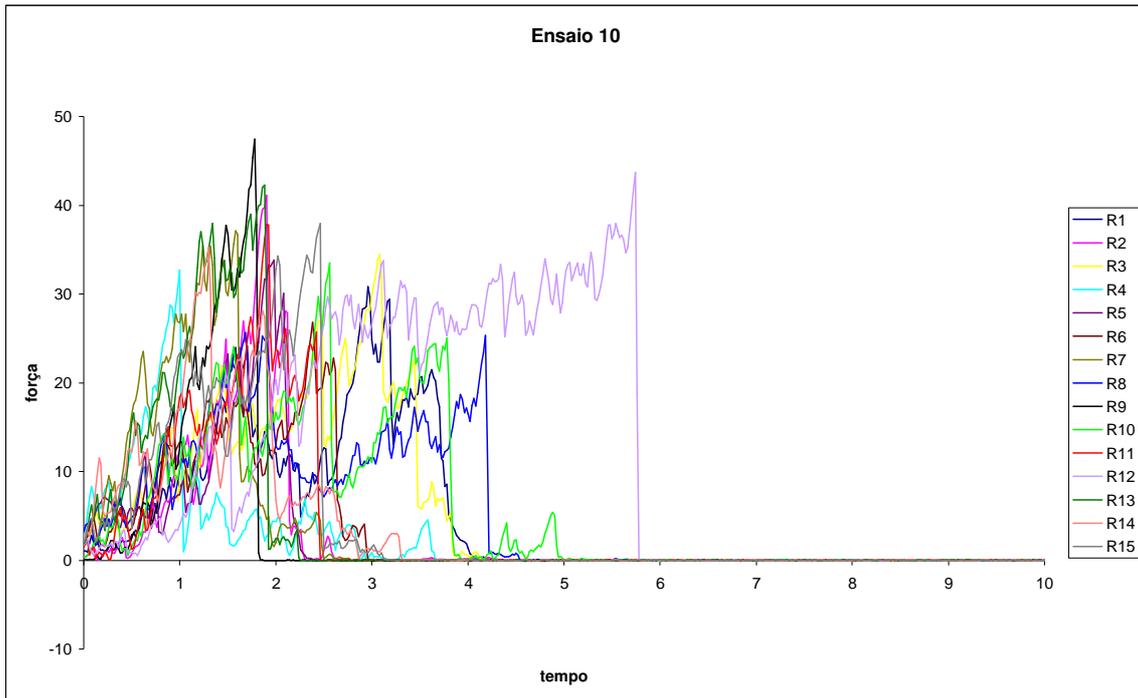


Figura A.10: Gráfico de força versus tempo do teste de força em compressão obtido na análise de textura instrumental para o ensaio 10.