

**ESTUDO DA SECAGEM DE CASCA DE ABACAXI VISANDO
DESENVOLVIMENTO DE CHÁ A PARTIR DO PRODUTO SECO**

ANA SÍLVIA BORONI DE OLIVEIRA

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE
DARCY RIBEIRO**

**CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
FEVEREIRO – 2014**

**ESTUDO DA SECAGEM DE CASCA DE ABACAXI VISANDO
DESENVOLVIMENTO DE CHÁ A PARTIR DO PRODUTO SECO**

ANA SÍLVIA BORONI DE OLIVEIRA

Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

Orientadora: Prof^ª. Nádia Rosa Pereira
Coorientadora: Prof^ª. Selma Bergara Almeida

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
FEVEREIRO – 2014

FICHA CATALOGRÁFICA

Preparada pela Biblioteca do **CCTA / UENF** 102/2014

Oliveira, Ana Sílvia Boroni de

Estudo da secagem de casca de abacaxi visando desenvolvimento de chá a partir do produto seco / Ana Sílvia Boroni de Oliveira. – 2014.

82 f. : il.

Orientador: Nadia Rosa Pereira.

Dissertação (Mestrado - Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias. Campos dos Goytacazes, RJ, 2014.

Bibliografia: f. 71 – 77.

1. Cinética de secagem 2. Co-produtos 3. Resíduo de fruta 4. Desidratação 5. Leito Fluidizado I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias. II. Título.

CDD– 664.0284

ESTUDO DA SECAGEM DE CASCA DE ABACAXI VISANDO
DESENVOLVIMENTO DE CHÁ A PARTIR DO PRODUTO SECO

ANA SÍLVIA BORONI DE OLIVEIRA

Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

Aprovada em 21 de fevereiro de 2014

Comissão Examinadora

Prof. Gustavo César Dacanal (D.Sc., Engenharia de Alimentos) – USP

Prof^a. Karla Silva Ferreira (D.Sc., Ciência e Tecnologia de Alimentos) –
UENF

Prof. Eder Dutra de Resende (D.Sc., Engenharia Química) – UENF

Prof^a. Nádia Rosa Pereira (D.Sc., Engenharia de Alimentos) – UENF
(Orientadora)

Dedico à minha mãe (Beth) e ao meu pai (Júlio), *in memórian*, bem como a todos que acreditaram no meu potencial.

“O que vale na vida não é o ponto de partida e sim a caminhada”

(Cora Coralina)

Sonhei, busquei e conquistei!

AGRADECIMENTOS

Agradeço a DEUS pelo dom da vida, pela proteção e por todas as bênçãos concedidas;

A Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF), ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal e ao Laboratório de Tecnologia de Alimentos pela oportunidade de realização do curso de Mestrado;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudo e a FAPERJ pelo financiamento do projeto de pesquisa;

À professora Selma Bergara Almeida pela orientação, por todo o carinho, toda amizade, todo ensinamento e todo incentivo. Certamente tenho um carinho e respeito especial por você!

À Professora Nádia Rosa Pereira pela orientação, dedicação e pela acolhida em um momento tão importante. Muito obrigada por tudo! O seu laboratório foi cenário de três grandes amizades;

Aos demais professores do LTA, em especial à prof^a Karla Ferreira Silva, que sempre me recebeu com alegria, atenção e disponibilidade para ensinar e ao prof. Eder Dutra de Resende pelos ensinamentos e pela oportunidade de dar continuidade a academia, seria um prazer grande trabalhar contigo!

A Carmozene, que contribuiu com a idealização do projeto e generosamente me apoiou para dar continuidade ao seu desenvolvimento;

Às amigas de laboratório Lara e Pollyane que me receberam, apoiaram, ajudaram e incentivaram em todos os momentos, principalmente nas horas mais difíceis, sempre me colocando pra cima e me fazendo acreditar em mim mesma. Vocês foram o apoio que eu precisava pra conseguir terminar no tempo certo. Nossos mais alegres cafés da tarde e as longas noites de trabalho no laboratório sempre serão lembrados com carinho;

Às amigas Simone e Suelen, por todas as grandes histórias que compartilhamos, por todo incentivo e pelos melhores conselhos. Aos demais amigos do LTA Geraldo, Renê, Diana, Wellington, Geovanny, Patrícia. Vocês fizeram a diferença e são muito especiais;

Às colegas de república Simone, Jéssica, Priscilla e Nayara pela acolhida e à divertida Francielle, minha eterna “Cia”, com a qual pude compartilhar a melhor playlist e diversos casos engraçados;

À minha mãe Astézia Elizabeth, meu maior exemplo de amor, perseverança e garra, responsável por toda a minha educação e conquista acadêmica e a quem tenho o maior amor. Ao meu pai Júlio, que de um lugar bem especial acredito estar me amparando e guiando pelos melhores caminhos;

À minha irmã Marina, ao meu sobrinho João Pedro, à minha tia Lucilândia e à minha prima Viviane por todo apoio, amor, carinho e oração;

Às minhas amigas de Ponte Nova “As Novas” (Amanda, Graciela, Aline, Marina, Suellen, Sara, Fernanda), Rúbia e as grandes amizades que trago comigo de Rio Pomba para o resto da vida, em especial Thaiana e Leandro. A alegria e amizade de vocês me dão força pra seguir caminhando!

Ao Tarcisio, meu namorado e amigo, que tanto me deu força e que dividiu comigo os mais difíceis momentos e as melhores alegrias desta etapa. Obrigada pela paciência, pelo amor e pelo companheirismo!

A todos os que de alguma forma contribuíram para realização deste sonho.

Com alegria eu agradeço de coração: MUITO OBRIGADA!

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	vii
LISTA DE FIGURAS.....	ix
RESUMO.....	xii
ABSTRACT	xiv
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3. OBJETIVOS	17
4. MATERIAL E MÉTODOS	18
4.1. Obtenção e seleção dos frutos e preparo da matéria-prima.....	19
4.2. Caracterização física dos frutos	21
4.3. Estudo da Fluidodinâmica e Processo de Secagem	21
4.4. Caracterização físico-química	24
4.4.1. Determinação de umidade	24
4.4.2. Determinação do teor de sólidos solúveis totais (SST)	25
4.4.3. Determinação da atividade de água	25
4.4.4. Determinação da Acidez	26
4.4.5. Determinação do pH.....	26
4.4.6. Atividade antioxidante	27
4.4.7. Capacidade de Reidratação	27

4.4.8. Distribuição granulométrica	28
4.5. Definição da concentração e Preparo do chá.....	28
4.6. Avaliação da Aceitação Sensorial	29
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	31
5.1. Avaliação Física dos frutos para a quantificação da casca	31
5.2. Caracterização química das amostras	32
5.3. Fluidodinâmica das partículas no secador	34
5.4. Processo de secagem.....	36
5.4.1. Cinética de secagem de casca de abacaxi em leito fluidizado ..	39
5.4.2. Ajuste por modelos matemáticos.....	49
5.5. Caracterização física e química da amostra seca	54
5.6. Caracterização do chá.....	59
5.7. Avaliação Sensorial	61
6. RESUMO E CONCLUSÕES	68
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71
Anexo II	80
Anexo III	81

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Representação do planejamento experimental com os níveis das variáveis independentes: temperatura e velocidade de ar de entrada	24
Tabela 2. Dados da avaliação química das amostras de casca de abacaxi úmidas utilizadas nos ensaios	33
Tabela 3. Umidade em base úmida e umidade adimensional em base seca das amostras secas obtidas em cada condição de secagem após 90 minutos	46
Tabela 4. Estimativa dos efeitos sobre o parâmetro de umidade expresso em base úmida e adimensional em base seca	47
Tabela 5. Coeficiente de regressão para umidade em base úmida (%X _{b.u}) e umidade adimensional em base seca (X/X _{0bs})	48
Tabela 6. Análise de variância para a resposta umidade (%X b. u.)	49
Tabela 7. Análise de variância para a resposta umidade adimensional (b.s)	49
Tabela 8. Parâmetros obtidos do ajuste dos dados experimentais de secagem da casca de abacaxi ao modelo de Page	51
Tabela 9. Parâmetros obtidos do ajuste dos dados experimentais de secagem da casca de abacaxi ao modelo exponencial.....	51
Tabela 10. Estimativa dos efeitos sobre os parâmetros k e n obtidos pelo modelo de Page.....	53

Tabela 11. Características físico-químicas das amostras secas obtidas em cada condição de secagem	54
Tabela 12. Efeitos das variáveis temperatura e velocidade do ar sobre a atividade de água, o diâmetro médio das partículas, a capacidade de reidratação e a atividade antioxidante da casca de abacaxi seca	57
Tabela 13. Coeficiente de regressão para atividade de água	58
Tabela 14. Análise de variância para a resposta atividade de água	59
Tabela 15. Características físicas e químicas dos chás obtidos da casca de abacaxi desidratada nas condições experimentais	60
Tabela 16. Médias de aceitação ¹ sensorial das amostras de chá de abacaxi (n = 63).....	63
Tabela 17. Estimativa dos efeitos para as respostas de aceitação sensorial dos atributos impressão global, cor, aroma e sabor do chá de abacaxi	63

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama no interior do sólido, destacando as transferências simultâneas de calor e de massa com a migração de umidade no interior de um sólido durante o processo de secagem (PARK et al., 2007).....	10
Figura 2. Exemplo de curva de secagem (PARK et al., 2007).	10
Figura 3. Representação esquemática dos regimes de fluidização (Kunii e Levenspiel, 1991).....	12
Figura 4. Resumo das etapas envolvidas no processamento do resíduo de abacaxi.....	19
Figura 5. Etapas da obtenção do material utilizado nos processos de secagem: (a) limpeza e sanitização dos frutos, (b) descascamento manual, (c) trituração da casca e (d) material particulado.	20
Figura 6. Equipamento de leito fluidizado utilizado nos processos de secagem composto de (1) Compressor radial – (2) válvula borboleta - (3) caixa de resistências – (4) sistema de resfriamento - (5) cone cilíndrico – (6) corpo do leito – (7) ciclone Lapple de vidro – (8) coletor de finos. – (9) sistema de acionamento e controle da temperatura do ar.	23
Figura 7. Cabine sensorial com sequência de amostras sendo servida no teste de aceitação dos chás de abacaxi.	30
Figura 8. Fração de massa da casca extraída do fruto de abacaxi.....	31

Figura 9. Curva fluidinâmica da casca de abacaxi particulada para velocidade do ar decrescente.	35
Figura 10. Variação do leito expandido da amostra temperatura da amostra no leito durante o tempo de secagem da casca de abacaxi nas diferentes condições operacionais utilizadas.	36
Figura 11. Variação da temperatura do ar de saída do equipamento durante o tempo de secagem da casca de abacaxi nas diferentes condições operacionais utilizadas.	37
Figura 12. Variação da umidade relativa do ar de saída do equipamento durante o tempo de secagem da casca de abacaxi nas diferentes condições operacionais utilizadas.	37
Figura 13. Conteúdo de umidade em base seca da casca de abacaxi em função do tempo dos experimentos de secagem.	39
Figura 14. Adimensional de umidade em função do tempo de secagem da casca de abacaxi para as três repetições do ponto central do planejamento, 80 °C e V= 2,8 m/s.	40
Figura 15. Adimensional de umidade em função do tempo de secagem da casca de abacaxi para as condições operacionais do planejamento experimental fatorial.	41
Figura 16. Taxa de secagem da casca de abacaxi em função da condição de secagem para os diferentes tratamentos.	42
Figura 17. Curva de secagem da casca de abacaxi nos experimentos utilizando temperatura de 70 °C (a) e de 90 °C (b), com velocidades de ar de 2,5 m/s e 3,1 m/s.	44
Figura 18. Curva de secagem da casca de abacaxi referente aos ensaios com utilização de velocidade de ar de 2,5 m/s (a) e de 3,1 m/s (b) em temperaturas de 70 °C e 90 °C.	45
Figura 19. Taxa de secagem em razão da umidade das condições de temperaturas do ar variadas de 70° e 90°C e velocidade de ar fixa em 2,5 m/s (a) ou 3,1 m/s (b).	45
Figura 20. Diagramas de Pareto para a resposta de umidade em % de base úmida (a) e umidade adimensional em base seca (b).	47

Figura 21. Ajuste das curvas de secagem da casca de abacaxi ao modelo de Page para temperaturas fixas em 70 °C (a) e 90 °C (b).....	52
Figura 22. Ajuste das curvas de secagem da casca de abacaxi ao modelo de Lewis para temperaturas fixas em 70 °C (a) e 90 °C (b).....	52
Figura 23. Diagramas de Pareto para as respostas das variáveis independentes sobre os parâmetros k (a) e n (b).....	53
Figura 24. Distribuição do tamanho das partículas secas de acordo com a fração da amostra retida por diâmetro médio das peneiras.	56
Figura 25. Diagramas de Pareto que representam os efeitos das variáveis velocidade e temperatura do ar sobre a atividade de água (a) e a capacidade de reidratação (% CR) (b).	57
Figura 26. Diagramas de Pareto que representam os efeitos das variáveis velocidade e temperatura do ar sobre o diâmetro médio das partículas (mm) (a) e a atividade antioxidante (% AAOX) (b).....	58
Figura 27. Atitude dos avaliadores em relação ao fruto abacaxi e chás de forma geral.	61
Figura 28. Respostas obtidas quanto à frequência de consumo de chás em geral pelos avaliadores.	62
Figura 29. Diagramas de Pareto dos efeitos das variáveis independentes sobre a impressão global, a aceitação da cor, a aceitação do aroma e a aceitação do sabor do chá de abacaxi	64
Figura 30. Distribuição de frequência das respostas dos consumidores (em %; n = 63) para a aceitação de impressão global, cor, aroma e sabor dos chás de a impressão global e aceitação da cor, aroma e sabor dos chás de abacaxi. 1: desgostei extremamente; 2: desgostei muito; 3: desgostei moderadamente; 4: desgostei ligeiramente; 5: nem gostei/nem desgostei; 6: gostei ligeiramente; 7: gostei moderadamente; 8: gostei muito; 9: gostei extremamente.	67

RESUMO

OLIVEIRA, Ana Sílvia Boroni, M.Sc. em Produção Vegetal. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Fevereiro de 2014. ESTUDO DA SECAGEM DE CASCA DE ABACAXI VISANDO DESENVOLVIMENTO DE CHÁ A PARTIR DO PRODUTO SECO. Orientadora: Nádia Rosa Pereira. Coorientadora: Selma Bergara Almeida.

O abacaxi é um fruto bastante consumido em todo o mundo e muito utilizado como matéria-prima pela indústria de alimentos. A industrialização acarreta na geração de subprodutos que, apesar de serem boa fonte de nutrientes e fibras, em sua grande maioria são descartados. Com o intuito de aproveitamento da casca de abacaxi, este trabalho aborda a secagem da mesma visando seu aproveitamento como matéria-prima para produção de chá. Assim, esta pesquisa teve como objetivo avaliar os efeitos da temperatura e velocidade do ar na secagem da casca de abacaxi em secador de leito fluidizado visando aproveitamento de casca do fruto como matéria-prima para produção de chá. Foram abordados estudos da cinética do processo de secagem, da caracterização físico-química dos produtos secos obtidos, formulação e elaboração de chás a partir do produto seco e avaliação da aceitação sensorial das bebidas. O processo de secagem foi realizado mediante um planejamento fatorial 2^2 com três repetições no ponto central. As variáveis independentes foram

temperatura do ar, no intervalo entre 70 e 90 °C, e velocidade do ar de secagem, no intervalo entre 2,5 m/s e 3,1 m/s. O material utilizado foi a casca de abacaxi particulada, lavada e prensada, obtida de frutos de abacaxi da variedade Pérola. Foram realizadas análises químicas e físicas para caracterizar o material úmido prensado e após seco, bem como o chá elaborado com o material seco triturado. Durante a secagem foram tomadas medidas de temperaturas da amostra e do ar de entrada e saída do processo, além da medida de umidade relativa do ar de saída. A aceitação sensorial dos chás, preparados com os produtos secos triturados, foi avaliada utilizando-se a escala hedônica de 9 pontos, quanto aos atributos impressão global, cor, sabor e aroma. Os resultados mostraram que o aumento da temperatura do ar de secagem teve efeito significativo na redução da umidade e atividade de água finais. A temperatura e a velocidade do ar de secagem não exerceram efeito significativo na capacidade de reidratação, diâmetro médio das partículas e atividade antioxidante da amostra seca, que manteve a capacidade de sequestro de radical livre em torno de 62-74%. O modelo de Page apresentou bom ajuste para os dados da cinética de secagem. Os chás elaborados do produto seco obtiveram médias de aceitação entre “gostei ligeiramente” e “gostei muito” para todos os atributos avaliados. A aceitação sensorial de todos os atributos analisados sensorialmente não sofreu efeito significativo das variáveis independentes e sua interação.

ABSTRACT

OLIVEIRA, Ana Sílvia Boroni, M.Sc. Vegetal Production. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. February, 2014. STUDY OF THE DRYING OF PEEL PINEAPPLE TEA DEVELOPMENT IN ORDER FROM THE DRY PRODUCT. Advisor: Nádia Rosa Pereira. Co-adviser: Selma Bergara Almeida.

Pineapple is a fruit widely consumed throughout the world and widely used as raw material for the food industry. Industrialization leads to the generation of waste, which although are good source of nutrients and fiber and mostly discarded. In order to use the residue composed of pineapple peel, this work addresses its drying for use it as raw material for production of tea. Thus, this research aimed to evaluate the effects of temperature and speed of air on drying of the pineapple peel in a fluid bed dryer targeting the harnessing the fruit peel as raw material for the production of tea. Studies on the kinetics of drying process, physico-chemical characterization of dry products, formulation and preparation of teas made with them and assessment of sensory acceptability of beverages were carried out. The drying process was conducted at a 2² experimental design with three replications at the center point. The independent variables were the air temperature, in the range between 70 °C and 90 °C, and speed of the drying air, in the range between 2,5 m/s and 3,1 m/s. The raw material was the washed and pressed pineapple peel particulate, which was obtained from Pérola pineapple fruit. Chemical and physical analyzes were performed to characterize both the pressed and wet

material as after the drying as well as the teas prepared with crushed dried material. Temperatures of the sample and of the inlet and outlet air of the process, as well the relative humidity of the output air were measured during the drying. The sensory acceptance of teas prepared with crushed dried products was evaluated using the hedonic scale of 9 points, as regards the overall impression attributes, color, taste and aroma. The overall sensory acceptability of teas prepared with crushed dried products was assessed using the 9-point hedonic scale, as the attributes color, flavor and aroma. The results showed that increasing the drying air temperature had a significant effect in reducing the water activity and moisture of the final product. The temperature and speed of the drying air had no significant effect on the characteristics of dry sample rehydration capacity, average particle diameter and antioxidant activity of dried sample, which remained at around 62-74 % capacity for sequestering DPPH free radical. The Page mathematical model presented good fit for the drying kinetics data. The aroma was the only hedonic attribute that suffered significant effect of the independent variables and their interaction: the increase in the values of variables promoted reduction of the acceptability of aroma of the teas by consumers. However, the lack of fit of the model for this response was significant, invalidating it.

1. INTRODUÇÃO

O abacaxi (*Ananas comosus* (L) Merrill) é uma fruta da região tropical consumida em todo o mundo e muito utilizada como matéria-prima para a fabricação de diversos produtos alimentícios. Dentre eles, a industrialização de doces do fruto gera grande quantidade que quando não aproveitados podem se tornar em fonte de poluição (Bengozi et al., 2007; Costa et al., 2007).

A Região Norte do Estado do Rio de Janeiro ocupa um território de 10.038 Km², o que representa 23% do total estadual de 43.909 Km² (Ferreira e Nascimento, 2007). A cultura da cana-de-açúcar e a pecuária constituem as principais atividades de importância econômica do setor agrícola desta região, entretanto, deve-se ressaltar o crescimento da fruticultura, nos últimos anos (Morgado et al., 2004).

As cascas, os talos, as coroas e os cilindros do abacaxi são considerados rejeitos pela indústria de polpa de frutas, porém podem se destacar por suas características nutricionais (Martin et al., 2012).

Diversos são os estudos realizados visando o aproveitamento de resíduos agroindustriais para elaboração ou enriquecimento de produtos. Com essa destinação mais adequada, as indústrias são capazes de reduzir os custos com transporte e tratamento dos resíduos, evitar problemas ambientais e agregar valor ao produto obtido após sua transformação.

Dos inúmeros trabalhos já realizados com o enfoque no aproveitamento de resíduos das indústrias processadoras de abacaxi, podem ser destacados os realizados por Costa et al. (2007), Marreiro et al. (2010) e Martin et al. (2012), que trabalharam com os resíduos de abacaxi e verificaram a viabilidade nutricional de sua utilização em outros alimentos.

A desidratação ou secagem de alimentos é a operação de remoção de água na forma de vapor por meio de vaporização térmica (Vasconcelos e Filho, 2010). Neste caso, a secagem é caracterizada pela evaporação da água do material biológico (Park et al., 2007), cujo objetivo principal é prolongar a vida útil dos alimentos por redução de sua atividade de água (Vasconcelos e Filho, 2010).

A secagem permite: estabilizar a atividade microbiológica e reduzir as reações químicas e enzimáticas, em razão da diminuição da atividade de água; dispor do produto durante todo o ano; reduzir o peso dos produtos e consequentemente os custos de transporte e de armazenamento.

A cinética de secagem ou rapidez com que o alimento perde umidade é controlada pelas características da matriz do alimento e pelas variáveis: temperatura, velocidade e umidade relativa do ar (Celestino, 2010).

No processo de secagem artificial, a escolha do tipo de secador a ser utilizado deve acontecer considerando-se a natureza do produto a ser desidratado, a forma desejada do produto final, a economia e as condições de operação (Vasconcelos e Filho, 2010).

O sistema de leito fluidizado é um processo de secagem no qual o ar aquecido atravessa um leito onde o alimento sólido está depositado sobre placa perfurada, com ajuste de velocidade para a manutenção da agitação contínua das partículas (Vasconcelos e Filho, 2010; Celestino, 2010).

Segundo Ambrosio-Ugri e Taranto (2004), para a secagem de materiais com características coesivas, quando úmidos, a agitação do leito fluidizado pode ser usada com sucesso para que não haja formação de caminhos preferenciais do gás e/ou de aglomerados de partículas.

Nas últimas décadas, o desenvolvimento dos processos de fluidização vem sendo utilizado em diversos setores industriais. O grande interesse por esta técnica se dá pelo eficiente contato entre sólidos e fluidos, proporcionando altas taxas de transferência de calor e massa (Melo et al., 2009).

Assim, a secagem em leite fluidizado tem como vantagem a obtenção de um alimento seco de forma mais homogênea e rápida. Sua utilização em alimentos se dá em produtos como ervilha, café, açúcar, carne em cubinhos, dentre outros (Celestino, 2010).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Fruticultura

A fruticultura está presente em todos os estados do Brasil. De acordo com o Anuário brasileiro da fruticultura 2013, o País apresenta diversidade de espécies única no mundo. E mesmo que ainda seja comum às pessoas cultivarem seus pomares domésticos, a atividade se consolida como uma das que mais geram emprego e renda dentro do agronegócio nacional (Pool et al., 2013).

Segundo o Levantamento Sistemático de Produção Agrícola realizado pelo IBGE em 2013, o Brasil teve uma produção de 1.650.936 toneladas de abacaxi em 2012. A região sudeste do país foi apontada como responsável por 31,5%, em 2012, e 32,9%, em 2013, de toda a safra nacional do fruto. Nestes dois anos, o Rio de Janeiro ocupou a segunda posição no ranking com a detenção de 8,1% e 8,0% da safra produzida, respectivamente.

A região Norte Fluminense sobreviveu, durante várias décadas, subordinada à monocultura da cana-de-açúcar, porém políticas de incentivo ao “desenvolvimento” criaram novas motivações na produção de culturas agrícolas irrigadas. Neste sentido, o programa Frutificar apareceu, a partir de 2000, como caminho de desenvolvimento para agricultura dos municípios do interior do Rio de Janeiro. Com isso, o pequeno agricultor da baixada campista, que por várias

gerações envolveu-se com a produção da cana e atividades complementares, passou a inserir-se em um novo ciclo produtivo, o da fruta (Crespo, 2004).

O abacaxi (*Ananas comosus* L. Merril) é uma planta de clima tropical, monocotiledônea, herbácea e perene da família Bromeliácea que tem grande aceitação em todo o mundo em sua forma natural e industrializada, agradando aos olhos, ao paladar e ao olfato (Crestani et al., 2010).

A qualidade da polpa do abacaxi no momento da colheita é muito importante pelo fato de que, se não estiver adequada ao consumo, não melhorará durante o tempo após a colheita. O teor de sólidos solúveis da polpa é o melhor índice de qualidade para saber se o fruto está adequado ao consumo, devendo encontrar-se igual ou superior a 14% (Chitarra e Chitarra, 2005).

A cultivar Pérola, também conhecida como 'Pernambuco', é amplamente cultivada no Brasil. A sua planta produz muitos filhotes (10 a 15) presos ao pedúnculo, próximos da base do fruto, casca amarelada (quando maduro), polpa branca, com sólidos solúveis totais de 14 a 16 °Brix, e pouco ácida, agradável ao paladar do consumidor brasileiro (Cabral e Jughans, 2003).

A composição química do abacaxi varia muito de acordo com a época em que é produzido, a variedade em cultivo e as condições de manejo da cultura, gerando frutos com maior teor de açúcares e menor acidez no verão. O fruto possui elevados valores energéticos, principalmente devido à sua alta composição de açúcares (12,3% de carboidratos), nutritivo, pela presença de sais minerais (cálcio, magnésio, manganês, fósforo, ferro, potássio, cobre e zinco) e de vitaminas (Franco, 2001; Taco, 2011).

Sandri et al. (2011), realizaram análises físico-químicas no abacaxi cultivar pérola *in natura* dividindo-o em três partes (ápice, meio e base) e avaliando a polpa e o cilindro central de cada uma das partes, constataram que o abacaxi não é um fruto uniforme, sendo, tanto na polpa quanto no cilindro central, a região apical mais ácida e úmida, a porção mediana de valores intermediários para todas as características analisadas e a porção basal com maior teor de sólidos solúveis totais e maior teor de açúcares.

Genericamente, Chitarra e Chitarra (2005) definem qualidade como o “conjunto de características que diferenciam componentes individuais de um mesmo produto e que têm significância na determinação do grau de aceitação

desse produto pelo consumidor”. Assim, devem ser considerados os atributos físicos, sensoriais e a composição química.

Embora a variedade Pérola seja a mais cultivada e comercializada em várias regiões do país e já tenha sido bem estudada em termos de seu cultivo ou quanto às características físico-químicas (Cunha et al., 2007; Brito et al., 2008; Sandri et al., 2011), foram encontrados poucos trabalhos que tenham avaliado sensorialmente essa ou outras variedades para consumo *in natura* e/ou envolvendo estudos com consumidores de abacaxi (Teixeira et al., 2006; Miguel et al., 2007; Brito et al., 2008; Berilli et al., 2011). Da mesma forma, há poucos registros sobre a avaliação de variedades com relação à adequação aos processamentos de seus derivados.

Além disso, frequentemente, os agricultores perdem plantas e frutos em função da susceptibilidade da variedade Pérola à fusariose, doença causada por um fungo durante o cultivo. Por isso, na tentativa de obter abacaxizeiros mais resistentes a essa praga, novas variedades de abacaxi vêm sendo desenvolvidas, dentre as quais: Imperial (Cabral e Matos, 2005), Vitória (Ventura et al., 2006) e IAC Fantástico (IAC, 2010). Entretanto, nem todas essas variedades de abacaxi foram avaliadas física, química ou sensorialmente, principalmente segundo a opinião dos consumidores, tampouco sobre o desempenho das mesmas na produção industrial de seus derivados. Uma das dificuldades desses estudos é a sazonalidade e baixa disponibilidade dos frutos, pois o cultivo dessas novas variedades ainda é pouco ou nada comercial.

2.2. Subprodutos Agroindustriais

O crescimento das atividades agroindustriais no Brasil tem acontecido de forma intensa nos últimos anos para atender a demanda por alimentos, levando à produção de elevada quantidade de resíduos agroindustriais oriundos dessas atividades (Dal’Toé e Fiorese, 2012). Em um processo industrial, o aparecimento de resíduos ocorre durante a escolha e seleção da matéria-prima, além das diversas fases da fabricação (Garmus et al., 2009).

De acordo com Rosa et al. (2011), a geração de resíduos pode representar perda de biomassa e de nutrientes, além de aumentar o potencial

poluidor, o qual está associado à disposição inadequada. Este último acarreta problemas de poluição de solos e de corpos hídricos e problemas de saúde pública. Além disso, o elevado custo associado ao tratamento, ao transporte e à disposição final dos resíduos gerados tem efeito direto sobre o preço do produto final.

Assim, a crescente preocupação com os impactos ambientais e o elevado índice de desperdício causado pelas indústrias de alimentos têm levado a busca de alternativas viáveis de aproveitamento desses resíduos como subprodutos para geração de novos produtos para consumo humano (Garmus et al., 2009).

Os subprodutos de origem vegetal, constituídos por cascas, sementes, ramas, bagaços, etc., são fontes de nutrientes como proteínas, fibras, óleos e enzimas e podem ser empregados para utilização humana na elaboração de produtos com maior valor agregado, reservando-se os detritos para o fabrico de ração animal e adubos (Garmus et al., 2009).

Na elaboração do suco de abacaxi, de acordo com Waughon e Pena (2006), é descartado, além da casca e coroa, parte da polpa, potencialmente rica em fibras, a qual poderia ser aproveitada na elaboração de novos produtos, devido, principalmente, aos diversos benefícios à saúde humana, obtidos pela ingestão de fibras.

Diversas são as formas de utilização e aproveitamento da casca de abacaxi. Uma delas, abordada por Marreiro et al. (2010), foi a aplicação deste resíduo, após seco em estufa a 60 °C por 5 horas, na elaboração de chá, abordando suas propriedades sensoriais e nutritivas. Os autores concluíram que o chá da casca do abacaxi representa uma alternativa de aproveitamento do resíduo e de fonte de nutrientes essenciais como a vitamina C, e que, por ter sido bem aceito sensorialmente por consumidores em potencial, é uma possibilidade para projeção em escala comercial.

Martin et al. (2012) avaliaram sensorialmente a aceitação de bolo acrescido de suco de resíduos de abacaxi (cascas, talos, coroas e miolo do abacaxi) visando à suplementação do teor de fibras na dieta alimentar e constataram que o produto obtido por meio do aproveitamento de resíduo do abacaxi contribui para o enriquecimento nutricional da dieta, além de ter boa aceitação pelos consumidores.

Costa et al. (2007) apontaram como uma boa forma de aproveitamento dos resíduos de abacaxi a aplicação de pós obtidos a partir da desidratação desses resíduos no enriquecimento de um novo produto alimentício, na elaboração de produtos de panificação, ou ainda adaptando-os para serem comercializados na forma de pó.

Outra forma de aproveitamento de subprodutos industriais, segundo Prado et al. (2003), é na alimentação de ruminantes, já que estes apresentam características nutritivas favoráveis à alimentação animal. De acordo com os autores, dentre os subprodutos gerados pelas indústrias, o de abacaxi se destaca em função do grande consumo da fruta na forma de sucos, geleias, sorvetes, doces, e, com isso, acabam sendo gerados em grandes quantidades, necessitando de um maior aproveitamento destes.

Assim, o aproveitamento dos subprodutos da agroindústria diminui os custos da produção, por reduzir os custos com transporte e tratamento dos mesmos, e aumenta o aproveitamento do alimento além de reduzir o impacto que esses subprodutos podem causar ao serem descartados no ambiente (Garmus et al., 2009).

Contudo, além da ampliação do mercado, pela disponibilização e valorização de novos produtos, o desenvolvimento de novos usos de produtos agropecuários e de tecnologias que revertam o conceito de resíduo para o de matéria-prima para a produção de novos materiais é imprescindível para otimizar a eficiência do agronegócio além de reduzir o impacto ambiental (Rosa et al., 2011).

2.3. Conservação e Secagem de Alimentos

A tecnologia de alimentos tem, entre seus elementos de estudo, o aumento da vida útil do produto alimentício convertendo-os em produtos mais estáveis que possam ser estocados por longos períodos, reportando como técnicas mais importantes o congelamento e a secagem (Alexandre et al., 2013).

A conservação de alimentos consiste na aplicação de alguns princípios físicos ou químicos que resultam em transformações capazes de prolongar a vida do alimento. Dessa forma, alguns dos processos tecnológicos de conservação de

alimentos conhecidos são: altas ou baixas temperaturas, eliminação de água (desidratação osmótica, secagem, liofilização, concentração e prensagem), aditivos químicos e irradiação (Park et al., 2006).

A água é um dos componentes dos alimentos que os micro-organismos mais necessitam para o seu desenvolvimento. A redução da água livre do alimento reduz as condições de desenvolvimento microbiano e de atividade das enzimas responsáveis por determinadas alterações nos alimentos (Santiago, 2008).

De acordo com Damodaran et al. (2010), o grau e a intensidade da ligação da água dependem de vários fatores, incluindo a natureza dos constituintes não aquosos, a composição salina, o pH e a temperatura. A água capturada de forma física não flui a partir dos tecidos alimentares com facilidade, mesmo quando eles são cortados ou picados. A água ligada é o conteúdo de água de equilíbrio de uma amostra, a uma temperatura apropriada e baixa umidade, é aquela que não está disponível como solvente para solutos adicionais. Assim, é a água existente nas proximidades de solutos e outros constituintes não aquosos, a qual exhibe propriedades aparentes que são significativamente diferentes da água livre. A água ligada pode ser pensada como água que de algum modo apresenta mobilidade modificada.

A remoção de água de alimentos sólidos surgiu como uma forma de reduzir a atividade de água (A_w) para inibir o crescimento microbiano, evitando assim a deterioração do mesmo. Esta remoção passou a ter grande importância na redução dos custos energéticos, de transporte, embalagem e armazenagem destes alimentos (Park et al., 2006).

A secagem é a operação por meio da qual se remove a umidade de um material por vaporização a uma temperatura inferior à de ebulição. A velocidade com que a secagem ocorre é controlada pelos fenômenos de transporte de calor e massa, tanto externamente como internamente ao material (Nitz, 2006).

Segundo Park et al. (2007), a secagem tem a finalidade de eliminar um líquido volátil contido em um corpo não volátil por meio de evaporação. O movimento de água do interior do material até a superfície é analisado pelos mecanismos de transferência de massa (Figura 1) (Park et al., 2007).



Figura 1. Diagrama no interior do sólido, destacando as transferências simultâneas de calor e de massa com a migração de umidade no interior de um sólido durante o processo de secagem (PARK et al., 2007).

As transferências simultâneas de calor e de massa na secagem são demonstradas pelas curvas de secagem, com a evolução do teor de água do produto (umidade - X), de sua temperatura (T) e da velocidade de secagem (dX/dt), ao longo do tempo, com a velocidade do ar constante. A Figura 2 ilustra a curva de secagem que é esquematicamente dividida em período de indução, quando a transferência de massa e a velocidade de secagem são pequenas; período de velocidade constante de secagem, quando a água, que está em grande quantidade disponível dentro do produto evapora-se como água livre, e período de velocidade decrescente de secagem, quando a água começa a ser deficiente na superfície e a troca de calor não é mais compensada (Park et al., 2007).

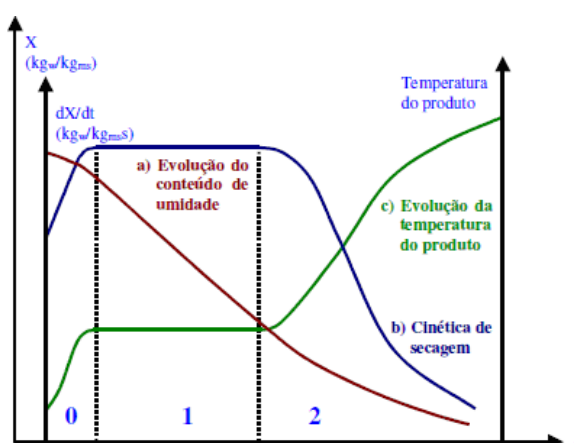


Figura 2. Exemplo de curva de secagem (PARK et al., 2007).

As informações contidas nas curvas de secagem são de fundamental importância para o desenvolvimento de processos e para o dimensionamento de equipamentos. Com elas pode-se estimar o tempo de realizar o planejamento de produção. Com o tempo necessário para a produção estima-se o gasto energético, que refletirá no custo de processamento, que por sua vez influenciará no preço final do produto (Vilela e Arthur, 2008).

Segundo Meloni (2003), o processo de secagem pode envolver três meios de transferência de calor: convecção, condução e radiação. A transferência de calor por convecção é o meio mais utilizado na secagem comercial, em que um fluxo de ar aquecido passa através do produto e sua umidade migra de seu interior para a superfície, evaporando para o ambiente. Desse modo, o produto é aquecido promovendo uma transferência de umidade para o ar que, ao sair do secador, apresenta menor temperatura e maior umidade relativa quando comparada às condições de entrada (Silva, 2006b).

Há basicamente dois tipos convencionais de secadores: por secagem direta, quando a própria corrente gasosa remove a umidade e encarrega-se de transferir o calor necessário para sua vaporização térmica; ou indireta, na qual uma superfície aquecida se encarrega de transferir calor ao material, enquanto outra gasosa insaturada promove a remoção da umidade (Fellows, 2006).

Nas últimas décadas, o desenvolvimento dos processos de fluidização vem sendo utilizado em diversos setores industriais, estendendo-se desde os processos químicos, como reações catalíticas e fermentativas, até os processos industriais físicos, como secagem e recobrimento de partículas. O grande interesse por esta técnica se dá pelo eficiente contato entre sólidos e fluidos, proporcionando altas taxas de transferência de calor e massa (Melo et al., 2009).

A secagem em leitos fluidizados, também chamados de leitos fluidos, é amplamente empregada para a remoção de umidade de materiais particulados. O método é baseado na passagem de ar quente pelo material depositado no leito sobre uma tela perfurada. Quando a velocidade de gás é maior do que uma velocidade crítica de fluidização, o leito se expande progressivamente até atingir um estado semelhante ao de um líquido em ebulição caracterizando um fenômeno chamado de fluidização (Strumillo e Kudra, 1930).

De acordo com Kunii e Levenspiel (1991), dependendo das características das partículas, da vazão de gás e do tipo de distribuidor, o leito pode comportar-se de formas variadas: Em baixas velocidades, o gás simplesmente percorre os interstícios do leito de partículas, que permanecem imóveis, perfazendo o leito fixo; com o aumento progressivo da velocidade do gás, algumas partículas passam a se mover e vibrar e o leito passa a ser expandido; Quando a velocidade excede à terminal de sedimentação das partículas, o material é arrastado e tem-se a fluidização turbulenta (Figura 3).

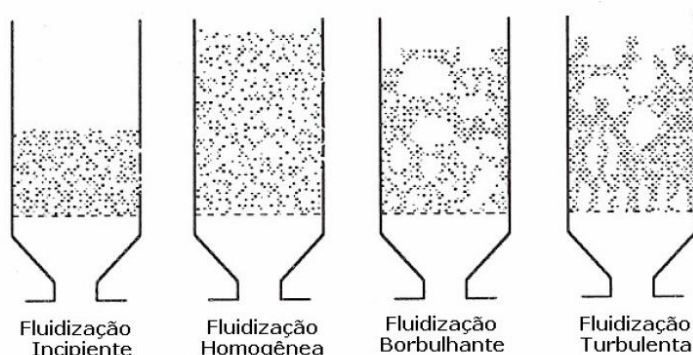


Figura 3. Representação esquemática dos regimes de fluidização (Kunii e Levenspiel, 1991).

A técnica de secagem em leito fluidizado é utilizada principalmente para materiais granulares e detém uma posição importante entre os métodos de secagem (Strumillo e Kudra, 1930).

As principais vantagens da secagem em leito fluidizado são, segundo (Strumillo e Kudra, 1930): muito boas condições para a transferência de calor e massa; possibilidade de aplicação de outras fontes de energia; boa uniformidade do material no leito. Freire e Silveira (2009), referem-se também à facilidade para operação contínua como mais uma das vantagens deste processo.

Apesar das vantagens do leito fluidizado convencional, modificações têm sido impostas ao projeto do leito, visando garantir uma melhor distribuição do gás através do leito de partículas, evitar intermitência ou parada do processo pela instabilidade dinâmica do leito e uma maior economia de energia para o processo

de recobrimento (Freire e Silveira, 2009). Dentre essas modificações, pode-se citar a introdução de agitadores mecânicos, sistemas de vibração do leito ou pulso-fluidização com redirecionamento da corrente gasosa (Nitz, 2006).

2.4. Avaliação sensorial

A qualidade não é dada por um atributo único bem definido de cada produto hortícola, assim, engloba propriedades sensoriais, valor nutritivo e multifuncional decorrentes dos componentes químicos, das propriedades mecânicas, bem como ausência ou a presença de defeitos do produto. (Chitarra e Chitarra, 2005).

De acordo com Dutcosky (2007), a qualidade do alimento compreende três aspectos fundamentais: nutricional, sensorial e microbiológico. As características de qualidade sensorial, tais como sabor, textura e aparência, precisam ser monitoradas desde o momento da percepção e escolha desta qualidade, por meio de estudos de consumidor.

Considerando o binômio alimento-qualidade, a avaliação sensorial tem um papel fundamental, por ser um instrumento chave na seleção de produtos, na pesquisa e no desenvolvimento de novos produtos, na definição do padrão de identidade e qualidade do alimento e na avaliação da aceitação pelo consumidor (Oliveira et al., 2008).

A análise sensorial é a ciência utilizada para evocar, medir, analisar e interpretar as reações produzidas pelas características dos alimentos e materiais que possam ser percebidas pelos sentidos da visão, do olfato, do gosto, do tato e da audição (ABTN – NBR 12806, 1993).

Com o crescimento da industrialização de alimentos no século XX e o desenvolvimento de muitos produtos novos, surgiu o questionamento sobre a capacidade dos poucos experts disponíveis cobrirem a avaliação de todos os produtos. Percebeu-se então que o nível de qualidade dos experts não refletia necessariamente as atitudes dos consumidores. Desde então, pesquisadores da área têm continuamente desenvolvido, formalizado e estruturado metodologias de avaliação com o objetivo primordial de conduzir testes válidos e confiáveis que

forneçam os dados e as informações necessárias à tomada de decisão (Faria e Yotsunagi, 2008).

Tal ciência tem uma abrangência como uma poderosa ferramenta em todas as etapas: desde a concepção de um novo produto alimentício até a padronização e avaliação do nível de qualidade do produto (Dutcosky, 2007).

Segundo o Instituto Adolfo Lutz (2008), a análise sensorial é realizada em função das respostas transmitidas pelos indivíduos às várias sensações que se originam de reações fisiológicas e são resultantes de certos estímulos, gerando a interpretação das propriedades intrínsecas aos produtos. As sensações produzidas podem dimensionar a intensidade, a extensão, a duração, a qualidade, o gosto ou o desgosto em relação ao produto avaliado. Nesta avaliação, os indivíduos, por meio dos próprios órgãos sensoriais, em uma percepção somato-sensorial, utilizam os sentidos da visão, do olfato, da audição, do tato e do gosto.

Dentre as metodologias sensoriais disponíveis, aquelas que utilizam consumidores ou consumidores potenciais do produto como avaliadores são denominados testes afetivos ou testes com consumidores. Estes testes classificam-se em testes de aceitabilidade ou de preferência (Meilgaard et al., 2007).

Os testes de aceitação medem o quanto os avaliadores gostam ou desgostam do produto, por meio de escalas. A escala mais utilizada é a escala hedônica com estrutura de sete ou de nove pontos (Peryam e Girardot, 1952), que permite a avaliação de cada amostra individualmente, sem que seja necessária a comparação entre amostras, embora possam ser avaliadas várias amostras em um mesmo teste (Meilgaard et al., 2007).

Por outro lado, os testes de preferência consistem na comparação direta de duas ou mais amostras, forçando o consumidor a escolher uma amostra em detrimento às demais. Entretanto, este tipo de teste é utilizado com menor frequência por não informar o grau com que os avaliadores gostam ou não das amostras (Meilgaard et al., 2007).

2.5. Chá

No mercado consumidor brasileiro podem ser encontrados chás provenientes de sementes, flores, folhas, cascas e frutos de várias espécies de plantas.

Embora em outros tempos tenha sido consumido como medicamento, o chá passou a ser do gosto popular devido às suas características sensoriais (Schimitz et al., 2005). Além disso, esse produto tem atraído muita atenção nos últimos anos devido à sua capacidade antioxidante e à sua abundância na dieta de milhares de pessoas em todo o mundo (Morais et al, 2009).

A Resolução RDC nº 277, de 22 de setembro de 2005 (ANVISA, 2005) define chá como sendo o produto constituído de uma ou mais partes de espécie(s) vegetal(is) inteira(s), fragmentada(s) ou moída(s), com ou sem fermentação, tostada(s) ou não, podendo ser adicionado de aroma e ou especiaria para conferir aroma e ou sabor.

A bebida chá é geralmente preparada por infusão com água quente de folhas, flores ou raízes de plantas, assim, cada tipo adquire um sabor definido de acordo com o processamento utilizado, que pode ser com ou sem fermentação, tostado ou não, podendo ser adicionado de aroma e ou especiaria (INMETRO, 2009).

No Brasil, os chás são consumidos tanto quentes, como gelados e, dependendo do chá, adicionado de suco de limão ou de outra fruta. Porém, foram encontrados poucos estudos que revelem as atitudes, os hábitos, as opiniões e mesmo as crenças dos consumidores a respeito desse tipo de produto.

Segundo Schimitz et al (2005), o chá utilizado por infusão é a forma mais popular dos diferentes produtos de origem vegetal e possui compostos biologicamente ativos, principalmente polifenóis, entre outras substâncias que auxiliam no tratamento de doenças.

Cientistas têm se dedicado aos estudos dos efeitos do chá sobre o organismo, bem como a conhecer melhor as substâncias que promovem efeitos benéficos ao mesmo. É, no entanto, necessária precaução em relação a estas conclusões, porque não existem praticamente resultados científicos conclusivos (INMETRO, 2009).

Para que os benefícios do consumo da bebida sejam máximos, de acordo com Nishiyama et al. (2010), são necessários estudos que assegurem as melhores formas de preparo da bebida, garantindo maior extração e estabilidade de seus compostos bioativos.

A inclusão da infrutescência (casca e polpa dos frutos) de Abacaxi (*Ananas comosus* L.) para o preparo de chás é contemplada pela resolução RDC nº 219, de 22 de dezembro de 2006 (ANVISA, 2006). Para comercialização, no rótulo do produto devem constar as seguintes informações: “Portadores de enfermidades hepáticas ou renais devem consultar o médico antes de consumir o produto” e “Não consumir de forma contínua por mais de quatro semanas”.

3. OBJETIVOS

Esta pesquisa teve como objetivo principal avaliar os efeitos da temperatura e velocidade do ar na secagem da casca de abacaxi em secador de leito fluidizado visando aproveitamento de casca do fruto como matéria-prima para produção de chá.

Os objetivos específicos foram:

Estudar os efeitos das variáveis independentes, temperatura e velocidade do ar, na cinética de secagem da casca de abacaxi particulada em secador de leito fluidizado;

Caracterizar o produto obtido pelo processo de secagem por meio de análises físico-químicas de umidade, atividade de água, capacidade de reidratação, diâmetro médio da partícula e atividade antioxidante;

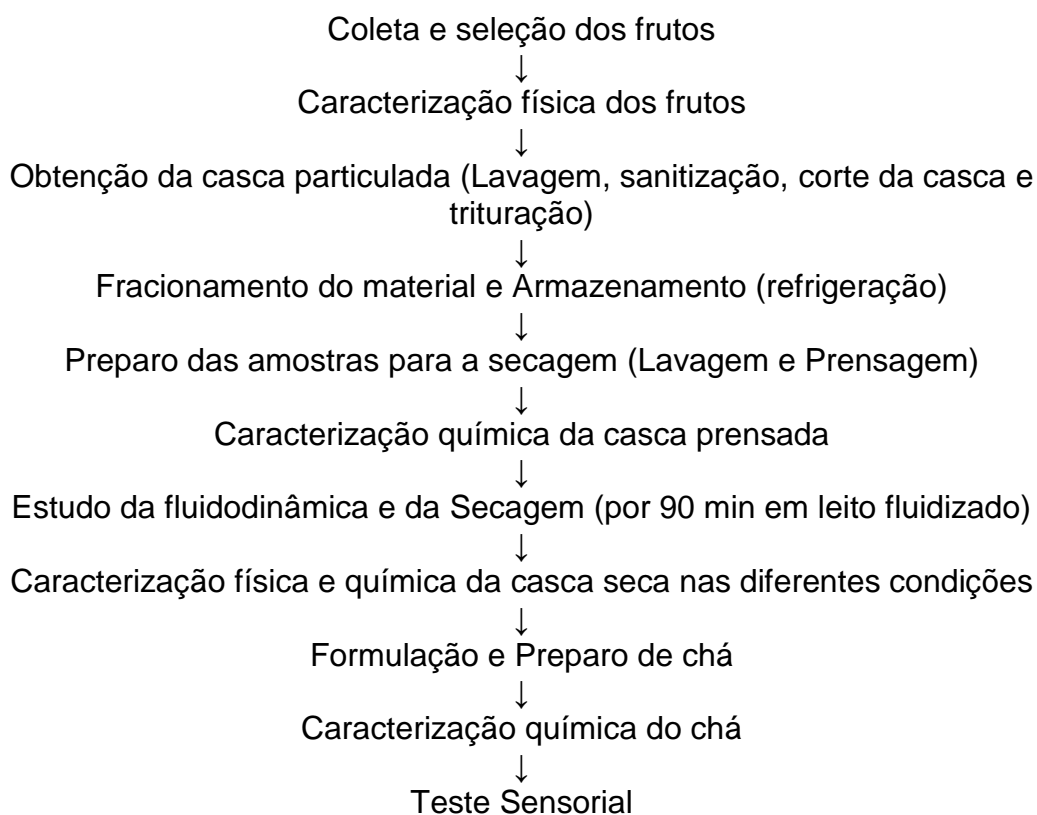
Elaborar a partir do material seco um produto em pó para preparo de chá como possibilidade de utilização do resíduo (casca de abacaxi);

Avaliar sensorialmente as formulações de chá pronto, por meio do estudo de aceitação por consumidores.

4. MATERIAL E MÉTODOS

O processamento dos frutos, a operação de secagem, as análises físico-químicas e os testes sensoriais foram realizados nos Setores de Operações Unitárias, de Nutrição e Análise de Alimento e de Análise Sensorial, respectivamente, pertencentes ao Laboratório de Tecnologia de Alimentos (LTA) do Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias (CCTA) da Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF). Suas etapas seguem resumidas no fluxograma da Figura 4 e descritas nas páginas seguintes.

Figura 4. Resumo das etapas envolvidas no processamento do resíduo de abacaxi



4.1. Obtenção e seleção dos frutos e preparo da matéria-prima

Os frutos de abacaxi Pérola foram adquiridos de um único produtor da região de São Francisco do Itabapoana – RJ, entre os meses de agosto a novembro de 2013.

No campo, foram selecionados frutos com coloração de casca com mais de 75% de amarelo-alaranjado e malha aberta para padronização do estágio de maturação. Após a chegada no laboratório, foram selecionados os frutos com teor de sólidos solúveis entre 11 e 12 °Brix.

O processamento dos frutos e a obtenção do resíduo como matéria-prima aconteceu de forma higiênica, seguindo os padrões de boas práticas de manipulação de alimentos e segue ilustrado na Figura 5.

Os frutos foram separados da coroa e encaminhados para a lavagem e sanitização com solução sanitizante de hipoclorito de sódio a 100 ppm de cloro

livre por 15 minutos. Em seguida, foi feito o enxágue para a retirada do excesso do sanitizante e a secagem natural. O descascamento foi realizado manualmente no sentido longitudinal do fruto com o auxílio de faca de aço inox. A casca foi cortada em cubos menores e triturada em porções de 505 ± 5 g por 90 segundos sob rotação máxima em multiprocessador Philco, modelo All in one (Figura 5 c).

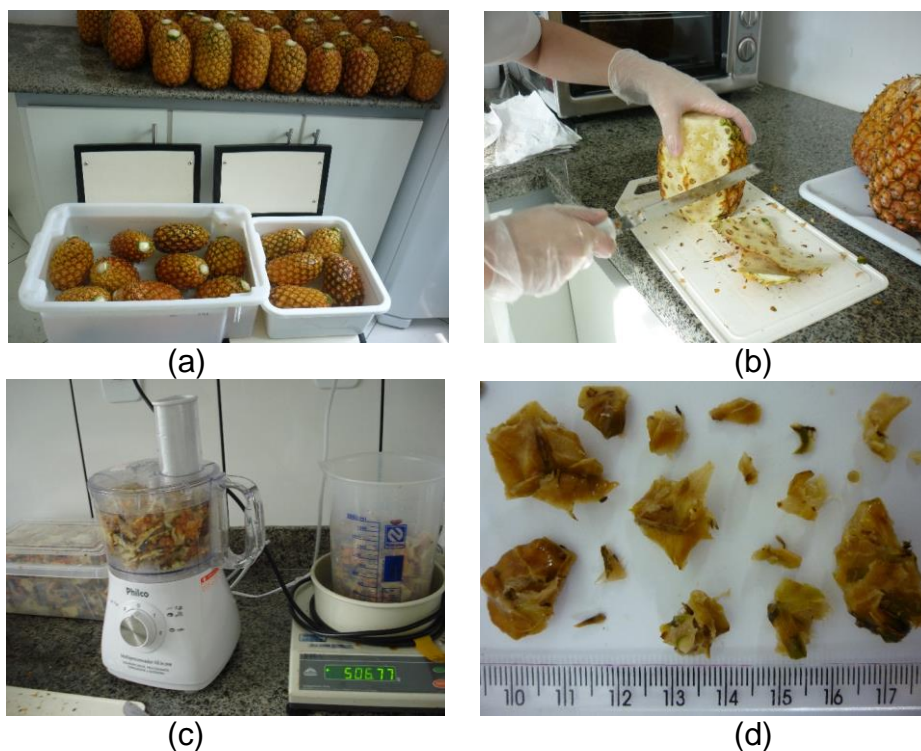


Figura 5. Etapas da obtenção do material utilizado nos processos de secagem: (a) limpeza e sanitização dos frutos, (b) descascamento manual, (c) trituração da casca e (d) material particulado.

Após particulado, o material foi homogeneizado, fracionado em porções médias de 1.400 g e armazenado em sacos plásticos selados sob refrigeração até o momento de seu preparo final, que antecedeu o processo de secagem.

Previamente à secagem, uma fração do material foi retirada da refrigeração, lavada por 3 vezes em volume de água potável igual à sua massa, com o objetivo de reduzir o teor de sólidos solúveis totais que causava coesividade ao material. Após a lavagem, o material foi prensado, com auxílio de

espremedor de batatas doméstico em alumínio, para remoção do excesso de água. Em seguida, parte da amostra de casca foi separada para análises de caracterização química e outra parte, 700 g, foi encaminhada ao carregamento do leito do equipamento para o processo de secagem.

4.2. Caracterização física dos frutos

A caracterização física por amostragem dos frutos se deu, em sequência da sanitização, por meio da avaliação de 27% do total de 120 frutos utilizados para extração da casca. Para tanto foram tomadas medidas de: altura em dois pontos opostos e diâmetro em cinco pontos longitudinalmente distintos dos frutos, com o auxílio de paquímetro digital; e de massa, em balança semianalítica, dos frutos individualmente e da massa de casca procedente do descasque de cada um.

Assim, foi possível estimar a massa de casca produzida por unidade ou quilo do fruto de abacaxi processado, adequado para o processamento, o que é de importância para se projetar uma linha de processo com base na quantidade de resíduo liberado e disponível.

4.3. Estudo da Fluidodinâmica e Processo de Secagem

Testes preliminares de secagem foram realizados com o objetivo de conhecer o comportamento do material no equipamento de leito fluidizado para diferentes velocidades de ar. Pôde-se observar que a amostra particulada quando submetida à secagem se aglomerava com facilidade e secava de forma desuniforme, provavelmente por seu alto teor de sólidos solúveis totais (SST) (em torno de 12 °Brix), proveniente da polpa aderida à casca, ou de sua conformação física rugosa. Procedeu-se então, anteriormente à secagem, a etapa de lavagem da casca particulada para se reduzir o conteúdo de SST da amostra, seguida de prensagem manual para remoção do excesso de água. Com a redução do teor de SST para cerca de 7 °Brix (Tabela 2) o resultado da dinâmica da amostra no leito foi satisfatório. Desta forma, esta etapa tornou-se fundamental para melhorar o

fluxo de ar pelas partículas no leito e originar uma amostra seca de forma mais uniforme.

Os ensaios fluidodinâmicos das partículas de casca de abacaxi em leito fluidizado foram realizados no equipamento carregado com 700 g de amostra úmida prensada à temperatura ambiente (25 °C) com variação da velocidade de ar inicial em intervalos de 0,15 m/s até atingir a velocidade máxima (6,31 m/s) de entrada de ar no equipamento para curva crescente, ou a mínima (0,16 m/s) para obtenção da curva decrescente de variação de pressão no leito de amostra. Por meio das curvas de fluidodinâmica obtidas de queda de pressão (Pa) no leito em função da vazão do ar de entrada, e da observação visual de comportamento da amostra, foi possível determinar o intervalo da velocidade de ar a ser utilizada nos ensaios de secagem entre 2,5 m/s e 3,1 m/s.

Os processos de secagem foram realizados em secador de leito fluidizado, com ar aquecido em temperaturas entre 70 °C e 90 °C (Figura 6). Anteriormente ao processo, o equipamento de leito fluidizado foi ajustado e estabilizado de acordo com a temperatura e velocidade de ar desejada em cada ensaio por cerca de 40 minutos para entrar em regime. Após, o sistema de ar foi desligado para fazer o carregamento com 700 g \pm 2 g de amostra particulada, recobrando uma altura entre 10 e 10,5 cm do leito, para então dar início ao processo.

Os ensaios foram realizados por tempo fixo de 90 minutos e velocidade e temperatura do ar variadas, visando reduzir a atividade de água para valores menores que 0,6 e garantir a estabilidade do produto seco.

Durante a secagem, foram realizadas coletas de amostra para a análise da umidade e construção da cinética de secagem ao longo do tempo de processo. Foram realizadas também leituras das temperaturas do ar na entrada e do leito de amostra, com o auxílio de termômetro digital, e temperatura e umidade relativa do ar de saída, com o auxílio de termo higrômetro digital, indicadas na Figura 6 como T1, T3, T2 e %RH, respectivamente, em intervalos de tempo de 10 em 10 minutos durante os primeiros 30 minutos e de 15 em 15 minutos até o final do processo, 90 minutos.

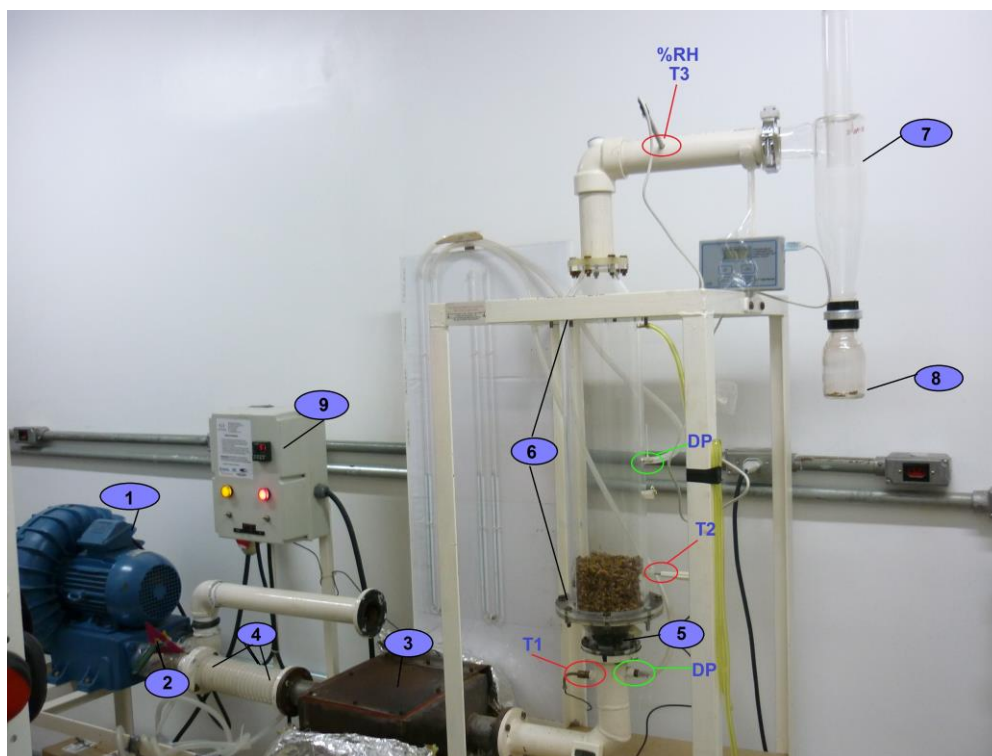


Figura 6. Equipamento de leito fluidizado utilizado nos processos de secagem composto de (1) Compressor radial – (2) válvula borboleta - (3) caixa de resistências – (4) sistema de resfriamento - (5) cone cilíndrico – (6) corpo do leito – (7) ciclone Lapple de vidro – (8) coletor de finos. – (9) sistema de acionamento e controle da temperatura do ar.

Os experimentos de secagem foram elaborados seguindo a técnica de planejamento fatorial em dois níveis (2^2), em relação às variáveis independentes, temperatura e velocidade do ar de passagem pela amostra, com três repetições do ponto central, perfazendo um total de 7 experimentos (Neto et al., 2001). Os níveis das variáveis independentes em estudo foram definidos em testes preliminares e seguem apresentados na Tabela 1 juntamente com as condições operacionais estabelecidas para os ensaios.

A análise estatística dos dados obtidos da secagem em leito fluidizado de casca de abacaxi seguiu a metodologia de superfície de resposta utilizando o programa Statistica Basica. As respostas avaliadas foram atividade de água, umidade (% b.u), adimensional de umidade (b.s), diâmetro médio das partículas, capacidade de reidratação, atividade antioxidante e aceitação sensorial do chá.

Tabela 1. Representação do planejamento experimental com os níveis das variáveis independentes: temperatura e velocidade de ar de entrada

Ensaio	Variáveis Independentes			
	Valores Codificados		Valores Reais	
	Temperatura do ar	Velocidade do Ar	Temperatura do ar (°C)	Velocidade do Ar (m/s)
1	-1	-1	70	2,5
2	-1	1	70	3,1
3	1	-1	90	2,5
4	1	1	90	3,1
5	0	0	80	2,8
6	0	0	80	2,8
7	0	0	80	2,8

4.4. Caracterização físico-química

A caracterização físico-química foi realizada nas amostras úmidas preparadas para a secagem (lavadas e prensadas) e das amostras secas obtidas ao final do processamento.

As amostras úmidas prensadas de casca de abacaxi foram analisadas em relação aos teores de umidade, aos sólidos solúveis totais (SST), à atividade de água (A_w), à acidez total titulável (ATT), ao pH e à atividade antioxidante. As amostras secas obtidas como produto final dos processos, foram submetidas às análises de umidade, à atividade de água, à atividade antioxidante, à distribuição granulométrica e à capacidade de reidratação.

As metodologias de análises utilizadas para a caracterização das amostras seguem descritas nos itens a seguir utilizando um número mínimo de 3 repetições para cada análise:

4.4.1. Determinação de umidade

O teor de umidade das amostras foi determinado pelo método da AOAC (1995), que consiste na secagem em estufa à pressão atmosférica a 105 ± 1 °C

de 2 g da amostra até a constatação do alcance do peso constante. As umidades expressas em base úmida (% Xbu) e em base seca (Xbs) foram então determinadas pela

Equação 1 e

Equação 2, respectivamente:

$$U(\% Xbu) = \frac{m_{inicial} - m_{final}}{m_{inicial}} \times 100 \quad \text{Equação 1}$$

$$U(Xbs) = \frac{U(bu)}{1 - U(bu)} \quad \text{Equação 2}$$

4.4.2. Determinação do teor de sólidos solúveis totais (SST)

O teor de sólidos solúveis totais das amostras foi determinado por um refratômetro de bancada (AOAC, 1995), no qual a leitura foi feita a partir de uma gota de suco extraída da amostra particulada, por meio de prensagem manual com o auxílio de papel filtro. Para a amostra de chá, a determinação foi realizada utilizando-se uma gota do produto. Os valores obtidos nas leituras foram expressos em °Brix.

4.4.3. Determinação da atividade de água

A atividade de água foi determinada por meio do instrumento Aqualab, modelo DEW – 4 TEV – Decagon, utilizando-se uma quantidade de amostra que cobrisse o fundo do recipiente plástico sem ultrapassar a metade da altura do mesmo.

A atividade de água (A_w) corresponde à relação entre pressão parcial de vapor de água no alimento (P_v) e a pressão de vapor de água da água pura (P_0), à mesma temperatura (Equação 3):

$$A_w = \frac{P_v}{P_x} \quad \text{Equação 3}$$

4.4.4. Determinação da Acidez

Os métodos que avaliam a acidez titulável resumem-se em titular com soluções de álcali padrão a acidez do produto e, assim, tal medida é expressa em mL de solução molar por cento ou em gramas do componente ácido principal (Instituto Adolfo Lutz, 2008).

A acidez titulável foi determinada por titulação com solução padronizada de NaOH a 0,1N, conforme IAL (2008). As amostras particuladas de casca de abacaxi foram pesadas em torno de 2,5 g em erlenmeyer de 250 ml, adicionadas de 150 mL de água destilada e homogeneizadas em turratec (marca Tecnal; modelo: TE-102) para o procedimento de titulação em presença de 3 gotas de solução indicadora fenolftaleína. Para a determinação nas amostras de chá, foram medidos 10 mL em um béquer de 125 mL, adicionados 50 mL de água destilada e adicionadas 3 gotas da solução de fenolftaleína para o procedimento da titulação da solução homogeneizada.

Os resultados foram expressos em % de ácido cítrico, conforme a Equação 4:

$$AT = \frac{V \cdot N \cdot E}{10 \cdot M} \quad \text{Equação 4}$$

em que:

V = volume de NaOH gasto na titulação (ml);

N = normalidade do NaOH (0,01N);

M = massa da amostra (g);

E = equivalente grama do ácido cítrico (64,04).

4.4.5. Determinação do pH

A determinação do pH foi realizada por leitura direta em potenciômetro digital de marca BEL-engineering (AOAC, 1995) nas amostras homogeneizadas,

tanto as particuladas de casca de abacaxi quanto as de chá. O equipamento foi calibrado com soluções padrão pH 7 e 4.

4.4.6. Atividade antioxidante

A avaliação da atividade antioxidante foi realizada pelo método fotolorimétrico do radical livre estável DPPH (2,2 – difenil – 1 – picrilidrazil), que se baseia na medida da perda de cor (lida em 515 nm) que ocorre em razão do sequestro do radical (DPPH) pelas substâncias antioxidantes do material (Ali et al., 2008).

O método consistiu na reação de 0,5 ml de extrato metanólico do produto seco, preparado com 2mg de amostra *in natura*-liofilizada ou seca, em concentrações de 1, 100 e 1000 µg/mL, com 0,5 mL de uma solução metanólica de DPPH (0,1 mM). A reação procedeu-se com agitação de 80 rpm por 1 h, em *shaker*, à temperatura ambiente, para então proceder-se a leitura da absorbância em 515 nm em espectrofotômetro UV-Vis (Shimadzu Mini 1240). A leitura da atividade antioxidante foi medida nas três diluições, porém a medida utilizada foi a que apresentou a maior capacidade de sequestro do radical livre DPPH (concentração de 1000 µg/mL). O cálculo se procedeu com base na absorbância obtida para a solução de DPPH sem a adição do extrato e atividade foi expressa como percentual de inibição de oxidação do radical, utilizando a

Equação 5:

$$\% \text{ inibição} = \frac{A_{\text{DPPH}} - A_{\text{Extr}}}{A_{\text{DPPH}}} \times 100 \quad \text{Equação 5}$$

em que: A_{DPPH} = absorbância da solução de DPPH;

A_{Extr} = absorbância da amostra em solução (Roesler et al., 2007).

4.4.7. Capacidade de Reidratação

Para quantificação da capacidade de reidratação, as amostras secas, após trituradas em velocidade máxima por 90 segundos em liquidificador Philips Walita (MOD. RI2160), foram reidratadas durante 10 minutos em proporção de 2 g

em 100 mL de água mineral a 100 °C em banho-maria, seguindo a condição de preparo do chá. Após este tempo de imersão, o chá foi coado em filtro de papel nº 102 previamente umedecido e pesado e a massa da amostra reidratada foi tomada por pesagem do filtro descontando sua massa quando úmido.

A capacidade de reidratação foi calculada de acordo com a Equação 6, pela diferença entre a massa da amostra seca (W_{seca}) e após a reidratação (W_{reid}) em relação à massa seca:

$$\% CR = \frac{W_{reid} - W_{seca}}{W_{seca}} \times 100$$

Equação 6

4.4.8. Distribuição granulométrica

A determinação das dimensões das partículas foi realizada em equipamento peneirador vibratório Produtest, com as peneiras grampeadas (Foust et al., 2008), as quais apresentavam abertura das malhas de 6, 8, 10 e 16 Mesh, sobrepostas de forma decrescente, por um período de tempo de 15 minutos e uma vibração 8, o suficiente para que se realizasse a separação do material por tamanho das partículas. As peneiras contendo a amostra foram então pesadas e, com a diferença do seu peso vazia, foi determinada a fração retida por diâmetro e o diâmetro médio das partículas.

4.5. Definição da concentração e Preparo do chá

O pó para o preparo do chá foi obtido por trituração do produto seco, proveniente de cada condição de secagem, realizada em liquidificador Philips Walita (MOD. RI2160) por 60 segundos.

A concentração utilizada para o preparo de 200 mL do chá foi definida por testes preliminares, baseando-se na massa seca (X_{bs}) de cada amostra, chegando-se à concentração de 3 % de massa seca.

O preparo das infusões foi realizado de forma padronizada, com imersão do pó, na quantidade pré-determinada de massa seca para cada amostra (aproximadamente 6 g) em 200 mL de água mineral aquecida a 100°C e mantida por 10 minutos em recipiente tampado com plástico filme em banho-maria. As soluções foram então filtradas em filtro de papel nº 102 diretamente em garrafas térmicas onde os produtos foram armazenados até o momento de serem servidos aos avaliadores.

4.6. Avaliação da Aceitação Sensorial

Anteriormente à avaliação sensorial, o projeto desta pesquisa foi submetido à avaliação por um Comitê de Ética em Pesquisa com seres humanos, em atendimento à Resolução 466, (Brasil, 2012), que estabelece as diretrizes para pesquisas realizadas com seres humanos.

Participaram do teste 63 indivíduos, dentre estudantes, funcionários e professores da UENF, dos quais 61,9% eram do sexo feminino e 38,1%, do sexo masculino, com idade mínima de 18 anos (36,5% tinham idade entre 18 e 24 anos; 47,6%, entre 25 e 34 anos; 12,7%, entre 35 e 49 anos; 1,6%, entre 50 e 60 anos; e 1,6%, acima de 60 anos). Os avaliadores foram considerados potenciais consumidores de chá de abacaxi em função de terem expressado, em resposta a um questionário (Anexo I), que gostavam de abacaxi *in natura* em grau igual ou superior à ligeiramente, na escala hedônica, e/ou gostavam ou eram indiferentes (nem gostavam, nem desgostavam) de chá em geral. Junto a esse questionário, foi acrescentado um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (Anexo I), também em atendimento às normas da Resolução 466 (Brasil, 2012), por meio do qual os candidatos foram esclarecidos quanto ao objetivo da pesquisa e aos aspectos de segurança envolvidos, declarando ter condições de saúde que não impedissem sua participação na pesquisa, assinando-o, por fim e expressando sua concordância em participar voluntariamente da pesquisa.

Amostras dos sete ensaios dos chás em infusão tiveram a aceitação sensorial global (impressão global) avaliada, bem como com relação à cor, ao

aroma e ao sabor, utilizando-se a escala hedônica estruturada de nove pontos (Peryam e Girardot, 1952). A ficha de avaliação pode ser visualizada no Anexo II.

A avaliação procedeu-se em duas sessões, devido ao grande número de amostras, para evitar que houvesse fadiga sensorial. Em cada sessão, a apresentação das amostras foi realizada de forma sequencial, utilizando delineamento em blocos completos casualizados para sete amostras.

Todas as avaliações foram realizadas sob as mesmas condições para todos os avaliadores, em cabines individuais equipadas com cuspeira, sob luz incandescente branca. As amostras foram servidas à temperatura de $80^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ em quantidade aproximada de 30 mL, em copos descartáveis de 50 mL, codificados com números aleatórios de três dígitos, acompanhadas de água para ingestão entre as amostras, colher descartável, açúcar e adoçante a serem utilizados a gosto pelos avaliadores (Figura 7).

Em função dos resultados da Análise de Superfície de Respostas, optou-se por complementar a análise estatística dos dados sensoriais submetendo-os à Análise da Variância (ANOVA) e teste de média de Tukey ($p \leq 0,05$), além da análise dos gráficos de distribuição de frequência das respostas.



Figura 7. Cabine sensorial com sequência de amostras sendo servida no teste de aceitação dos chás de abacaxi.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Avaliação Física dos frutos para a quantificação da casca

A avaliação física dos frutos utilizados como matéria-prima foi realizada por amostragem para que fosse possível estimar a massa de casca presente nos frutos de abacaxi. Os dados obtidos para a amostragem encontram-se representados na Figura 8.

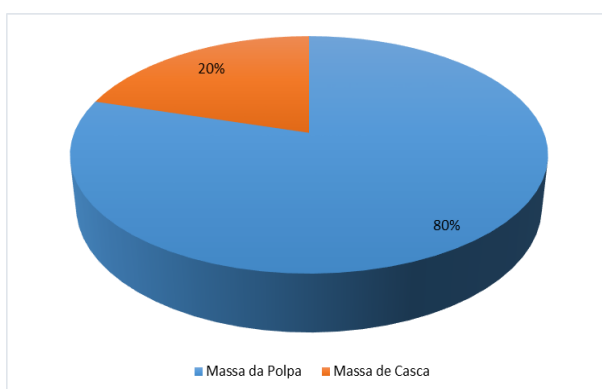


Figura 8. Fração de massa da casca extraída do fruto de abacaxi.

Pôde-se observar que do peso total do fruto sem a coroa, cerca de 20% era constituído pela casca, e os 80% restantes pela massa de polpa e pelos

resíduos miolo e pontas superior e inferior do fruto (Figura 8), o que confirma o grande volume de casca proveniente do descascamento deste fruto, que em grande parte das vezes é descartado, podendo causar problemas ambientais.

O volume de resíduos proveniente do fruto pode variar de acordo com as características físicas e genéticas do fruto e com a quantidade de perda de polpa aderida à casca durante descascamento mecânico. Segundo Silva (2006a), no processo industrial de elaboração de abacaxi em calda, são gerados resíduos dos quais 31,72% constituem-se em cascas removidas durante o corte mecânico para a separação da polpa.

Durante o preparo final da matéria-prima, após as etapas de lavagem e prensagem do material, foi possível observar uma redução da massa do material em 40% em relação à inicial, que é decorrente da extração mecânica da água e da perda de sólidos da amostra.

5.2. Caracterização química das amostras

Os dados obtidos das análises de caracterização das amostras da casca de abacaxi prensadas utilizadas nos ensaios de secagem em leito fluidizado seguem expostos na Tabela 2.

Pôde-se observar que apesar do material particulado ser homogeneizado antes de fracionado em porções individuais, as quais foram armazenadas em sacos plásticos sob refrigeração para posterior secagem, houve uma variação nas características químicas da matéria-prima preparada para cada processo.

A determinação de umidade é uma das medidas mais importantes e utilizadas na análise de alimentos, uma vez que esta medida está relacionada com sua estabilidade, qualidade e composição (Cechi, 2003). O teor de umidade em base úmida da casca de abacaxi úmida prensada, entre 82,7% e 83,2%, caracteriza a amostra com alto teor de umidade inicial, o que a torna vulnerável a deteriorações (Quintero, 2007). O conteúdo de água, no entanto, não fornece informações de como a mesma se encontra distribuída ou sua forma de ligação com o alimento (Cechi, 2003). Neste sentido, a medida de atividade de água torna-se imprescindível.

Tabela 2. Dados da avaliação química das amostras de casca de abacaxi úmidas utilizadas nos ensaios

Condições de Secagem		Acidez (g/100g)	pH	SST (°Brix)	Ratio (SST/acidez)	Atividade de água	Umidade (g/100g)	Atividade Antioxidante
T (°C)	V (m/s)							
70	2,5	0,51 ± 0,05	4,1 ± 0,1	5,8 ± 0,8	11,79	0,997 ± 0,001	83 ± 1	90 ± 6
70	3,1	0,51 ± 0,01	3,9 ± 0,1	7,2 ± 0,7	14,23	0,996 ± 0,002	83,2 ± 0,6	90 ± 6
90	2,5	0,34 ± 0,04	4,1 ± 0,2	7 ± 1	19,66	0,996 ± 0,002	83 ± 1	90 ± 6
90	3,1	0,39 ± 0,03	4,1 ± 0,1	7 ± 1	17,58	0,995 ± 0,002	82,9 ± 0,4	88 ± 3
80	2,8	0,47 ± 0,07	3,9 ± 0,1	7,4 ± 0,7	17,63	0,995 ± 0,001	82,6 ± 0,3	88 ± 3
80	2,8	0,44 ± 0,04	4,15 ± 0,08	6,6 ± 0,6	15,73	0,995 ± 0,002	83,2 ± 0,7	82 ± 5
80	2,8	0,38 ± 0,04	4,2 ± 0,1	7 ± 1	18,94	0,996 ± 0,002	82,7 ± 0,5	82 ± 5
Média Geral		0,4 ± 0,1	4,1 ± 0,3	7 ± 2	16,51	0,996 ± 0,004	83 ± 2	87 ± 8

O teor de atividade de água (A_w) foi superior a 0,995 para todas as amostras. Segundo Cechi (2003), a velocidade de crescimento dos microrganismos diminui com a redução da atividade de água, podendo sofrer paralisação completa quando inferior a 0,6, o que confirma a suscetibilidade da amostra inicial a deteriorações.

A casca de abacaxi “in natura” prensada caracterizou-se com um teor de sólidos solúveis totais (SST) médio de 7 ± 2 °Brix, o que é um valor reduzido em comparação ao encontrado na polpa quando o fruto está em estágio de maturação adequado para a colheita, que segundo Pedreira et al. (2008) é de 12,5 °Brix. Lemos et al.(2010) encontraram o teor de SST em 9,66 °Brix para o resíduo de abacaxi Pérola, proveniente da industrialização de polpa. Tal redução obtida era esperada como consequência da etapa final de preparo da amostra, com a lavagem e prensagem do material, por haver perda de suco da polpa residual e lixiviação de componentes solúveis.

O teor de *ratio* foi obtido relacionando o teor de SST com o de acidez total titulável, cujos valores encontravam-se entre $0,34g \pm 0,04g$ a $0,51g \pm 0,05g$ de ácido cítrico em 100 g da amostra. Este parâmetro é indicativo do grau de equilíbrio entre os teores de ácidos e de açúcares e está relacionado à percepção

sensorial da doçura e da acidez. A casca de abacaxi preparada para a secagem apresentou um valor de *ratio* (SST/ATT) médio de 16,51, sugerindo uma doçura pouco pronunciada.

Os valores obtidos para o pH da amostra mantiveram-se entre $3,9 \pm 0,1$ a $4,2 \pm 0,1$, caracterizando-a como ácida. Lemos et al. (2010), encontraram valores de pH inferiores a 4,00 em amostras dos resíduos de abacaxi Pérola e Jupi, destacando a barreira biológica quanto menor o valor de pH.

Em avaliação do abacaxi, Quintero (2007) encontrou valores médios para SST, acidez total titulável (ATT), *ratio* (SST/ATT) e pH iguais a 13,8 ($\pm 1,25$), 0,58 ($\pm 0,08$), 23,7 ($\pm 4,07$) e 3,99 ($\pm 0,11$), respectivamente. Pedreira et al. (2008), em avaliação de abacaxi durante os 12 meses do ano, obtiveram os mesmos valores para estes parâmetros entre 11,36 a 14,09 de SST, 0,37 a 0,63 de ATT, 22,32 a 35,65 de *ratio* (SST/ATT) e pH de 3,86 a 4,31. Percebe-se, assim, que a etapa de lavagem foi responsável por diminuir principalmente o teor de SST das amostras, resultando em uma diminuição do *ratio* (SST/ATT), o que já era esperado com esta etapa. A acidez encontrada na casca de abacaxi preparada para a secagem (lavada e prensada) obteve valor próximo à do fruto analisado por Quintero (2007) e coerente com os obtidos por Pedreira et al. (2008). O pH manteve uma média próxima às obtidas para o fruto por ambos os autores citados.

5.3. Fluidodinâmica das partículas no secador

A partir do estudo fluidodinâmico com os dados de variação de pressão pela variação da velocidade de ar e a observação visual do leito de partículas, foi possível construir as curvas fluidodinâmicas crescente e decrescente para casca de abacaxi prensada, verificar a mobilidade das partículas no leito do equipamento e definir as variáveis a serem utilizadas no processo.

A Figura 9 apresenta a curva fluidodinâmica de queda de pressão do leito versus velocidade do ar crescente e decrescente para casca de abacaxi prensada à temperatura ambiente.

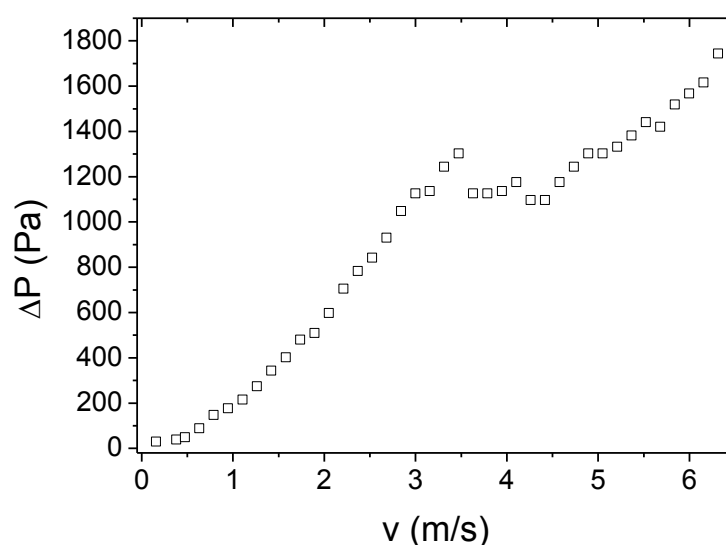


Figura 9. Curva fluidinâmica da casca de abacaxi particulada para velocidade do ar decrescente.

Foi possível observar que, mesmo com o processo de lavagem e prensagem do material úmido e sua redução consequente do teor de SST, a fluidização das partículas foi dificultada devido à sua característica física rugosa, que resultou em encaixe mecânico entre as partículas, decorrendo em um leito na qual as partículas encontravam-se expandidas, porém não se movimentavam independente da velocidade do ar utilizada.

A fluidização da amostra somente foi alcançada quando realizado revolvimento da amostra no leito. Em testes preliminares, foi utilizado agitador manual para produzir tal fenômeno e percebeu-se a movimentação das partículas de forma contínua a partir da utilização da velocidade de 2,5 m/s. Para velocidade acima de 3,1 m/s, foi verificado um movimento muito intenso e vigoroso com grande perda de amostra por arraste, captada no coletor acoplado ao ciclone. Assim, o intervalo de velocidade de ar, variável independente do planejamento de secagem do resíduo, foi realizado com base nestas observações e definido entre de 2,5 e 3,1 m/s.

5.4. Processo de secagem

O processo de secagem foi realizado em tempo fixo de 90 minutos sob as condições de temperatura e velocidade do ar preestabelecidas e segundo o planejamento estatístico descrito no item 0.

Após o carregamento do equipamento com 700 g de amostra a 25 °C, preenchendo cerca de 10 cm do leito, procedeu-se o início da secagem, na qual foram tomadas leituras de temperaturas do ar de entrada, da amostra no leito e de saída do ar, bem como da umidade relativa do ar na saída do equipamento, durante o processo de secagem.

A Figura 10 e a Figura 11 ilustram as curvas de variação da temperatura do ar de saída e da temperatura da amostra ao longo da secagem. Enquanto a Figura 12 ilustra o comportamento da umidade relativa do ar de saída do equipamento.

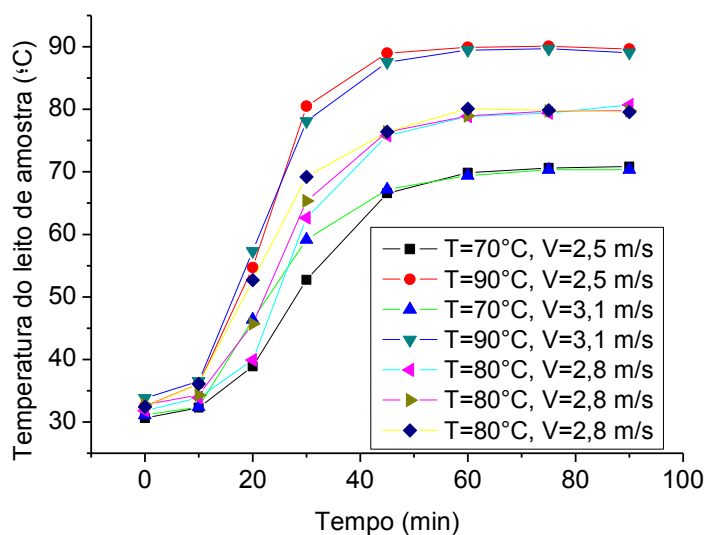


Figura 10. Variação do leito expandido da amostra temperatura da amostra no leito durante o tempo de secagem da casca de abacaxi nas diferentes condições operacionais utilizadas.

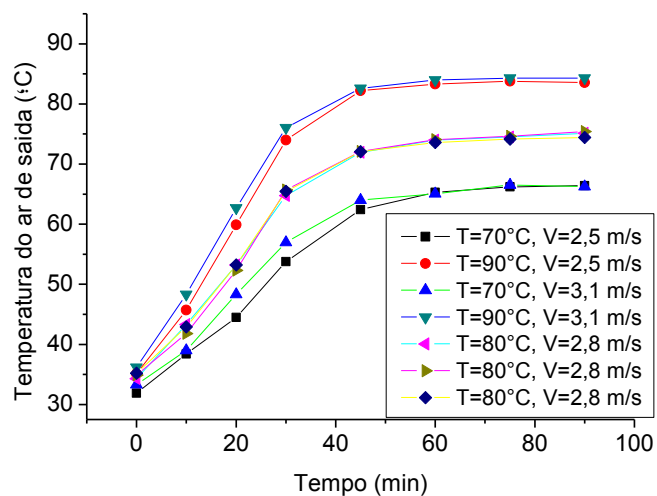


Figura 11. Variação da temperatura do ar de saída do equipamento durante o tempo de secagem da casca de abacaxi nas diferentes condições operacionais utilizadas.

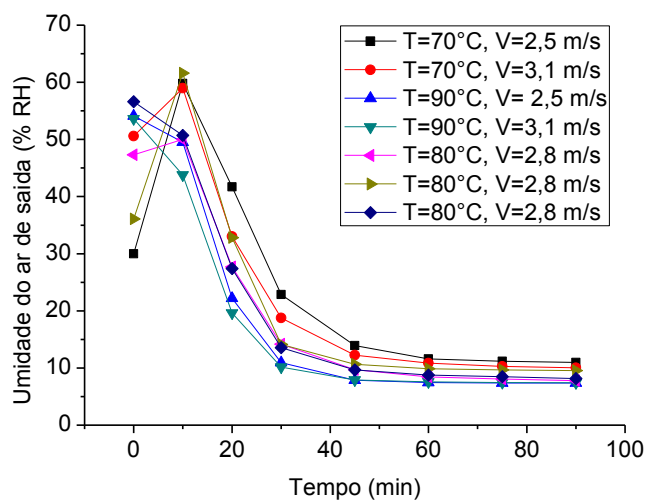


Figura 12. Variação da umidade relativa do ar de saída do equipamento durante o tempo de secagem da casca de abacaxi nas diferentes condições operacionais utilizadas.

As curvas de temperatura e de umidade do sistema durante o tempo de secagem são indicativas do comportamento da cinética de secagem.

As características das curvas das temperaturas do ar de saída do equipamento (Figura 10) e da amostra no leito (Figura 11) são bastante parecidas e inversas ao comportamento observado na curva de umidade (Figura 12) durante o tempo de secagem. Com isso, pode-se observar que nas mesmas proporções em que a temperatura da amostra aumenta, sua umidade se reduz, até que ambas permaneçam em um valor constante, tendendo ao equilíbrio.

Uma pequena variação na temperatura do ar de saída do equipamento é observada em relação à temperatura da amostra no leito expandido, o que pode ser explicado devido ao leito não ser isolado termicamente e haver perda de calor durante a passagem do ar e pelo fato da umidificação adiabática ocasionar um leve resfriamento, levando à diminuição da temperatura no ar de saída.

Percebe-se que no início das secagens, até os 10 primeiros minutos, o leito de amostra (Figura 11) apresenta um aumento mais suave na temperatura. Após este momento, seu aquecimento se torna mais intenso até os 45 minutos de processo, tendendo a uma temperatura constante próxima da temperatura de entrada do ar após os 60 minutos de secagem. De acordo com Park et al. (2007), durante o período decrescente da taxa de umidade, a troca de calor não é mais compensada, conseqüentemente, a temperatura do produto aumenta e tende assintoticamente à temperatura do ar.

Inversamente a isto, para os ensaios de menor temperatura (70 °C) e em duas repetições de condições centrais, pode-se observar um pico inicial na umidade de saída, que decai até a constância, também em 60 minutos de secagem. Então, pode-se dizer que estes dados indicam, para estas condições, um comportamento preditivo de taxa de secagem na qual provavelmente há um curto período de indução, até os 10 minutos iniciais, seguido do período de taxa decrescente até uma umidade constante.

Para os ensaios de secagem na temperatura mais elevada (90 °C), este pico inicial de saída de umidade não é observado, o que pode ser um indicativo de que, para estas condições, o período de indução ocorre em um tempo menor que os 10 minutos observados pelas tomadas dessas medidas.

5.4.1. Cinética de secagem de casca de abacaxi em leito fluidizado

Utilizando-se as medidas de umidade em base seca obtidas para amostras retiradas em diferentes intervalos durante a secagem, foram traçadas curvas de secagem, do conteúdo de umidade do material em função do tempo e das taxas de secagem em função do conteúdo de umidade do material.

A Figura 13 ilustra a curva de secagem da casca de abacaxi para as condições operacionais dos ensaios realizados.

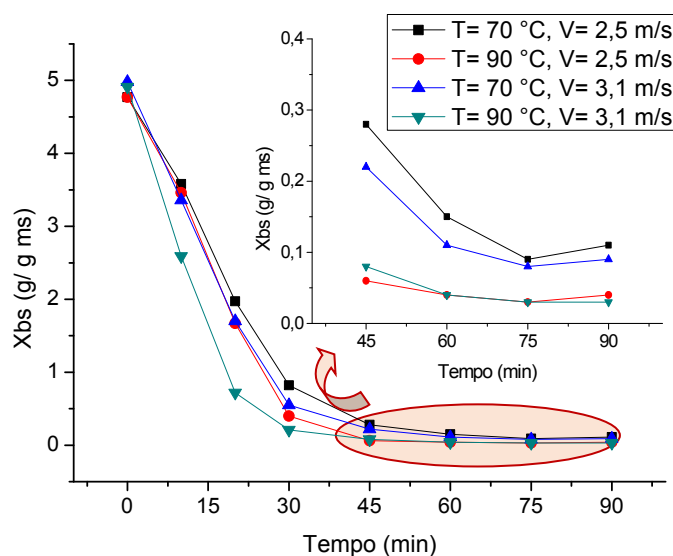


Figura 13. Conteúdo de umidade em base seca da casca de abacaxi em função do tempo dos experimentos de secagem.

Foi possível observar, para todas as condições de secagem, que a umidade de equilíbrio foi alcançada antes mesmo do tempo total do processo, de 90 minutos, para todas as condições (Figura 13), sendo esta alcançada em menor tempo, 60 minutos de processo, quando aplicada a maior temperatura de processo (90 °C) e em maior tempo, 75 minutos, quando utilizado a temperatura inferior (70 °C).

As umidades de equilíbrio em medida de base seca foram de 0,1107 e 0,0353 para as cascas secas em 70 e 90 °C, respectivamente, sob velocidade do

ar de 2,5 m/s, e de 0,0876 e 0,0325 sob velocidade do ar em 3,1 m/s e temperaturas de 70 e 90 °C.

A Figura 14 ilustra as curvas de secagem das três repetições do ponto central para avaliar a reprodutibilidade dos processos e os erros associados às medidas. As curvas de secagem do material referente ao decréscimo da umidade adimensional em base seca para os diferentes tratamentos em função do tempo de secagem estão ilustradas na Figura 15. A umidade adimensional foi calculada

como $\left(\frac{X - X_{eq}}{X_0 - X_{eq}} \right)$, considerando-se a umidade final como umidade de equilíbrio

(X_{eq}) para cada tratamento.

Observa-se que as repetições da condição intermediária de secagem ou ponto central do planejamento fatorial, apresentam resultados similares de decréscimo de umidade em relação ao tempo durante o processo (Figura 14), apresentando curvas de secagem muito próximas. O que revela a reprodutibilidade e confiabilidade dos resultados de secagem.

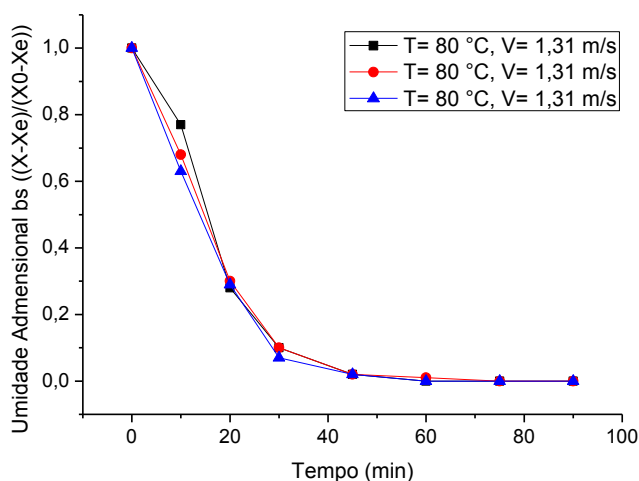


Figura 14. Adimensional de umidade em função do tempo de secagem da casca de abacaxi para as três repetições do ponto central do planejamento, 80 °C e V= 2,8 m/s.

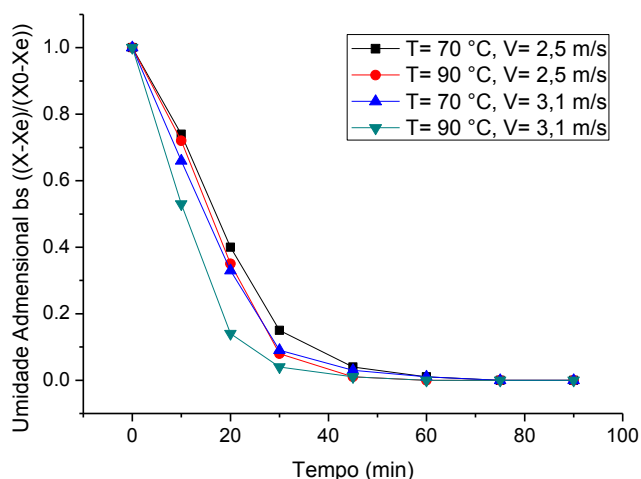


Figura 15. Adimensional de umidade em função do tempo de secagem da casca de abacaxi para as condições operacionais do planejamento experimental fatorial.

Comparando as curvas de secagem das condições operacionais propostas pelo planejamento experimental, foi possível observar uma cinética mais lenta na condição inferior (70 °C e 2,5 m/s) e mais rápida na condição superior do planejamento (90 °C e 3,1 m/s) (Figura 15).

Pode-se verificar que a taxa de redução de umidade é diferente entre os intervalos equivalentes aos primeiros 30 minutos, de 30 a 45 minutos e o após os 45 minutos de secagem. Assim, durante os primeiros 30 minutos do processo, tem-se uma secagem mais pronunciada e com maior variação entre as condições de secagem, essa variação é reduzida após este tempo até o alcance da condição de equilíbrio em todos os ensaios.

Resultado similar à perda do conteúdo de umidade mais rápida no início do processo de secagem também foi verificado por Gouveia et al. (2003), sendo também observada uma maior taxa de secagem quanto mais elevada é a temperatura de secagem em velocidades de ar equivalentes a 1,0 m/s e 1,5 m/s.

Verificou-se, de acordo com a Figura 15, que as condições opostas de secagem, de maiores velocidade de ar e temperatura e de menores velocidade de ar e temperatura, implicam em uma maior diferença das curvas de secagem. As condições em que uma das variáveis (velocidade de ar ou temperatura) é maior e

a outra é menor ($T=90\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $V=2,5\text{ m/s}$; $T=70\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $V=3,1\text{ m/s}$) apresentam suas curvas de secagem com características bastante similares, diferindo-se apenas nos primeiros minutos e praticamente se igualando após os 20 minutos de secagem. O que significa que a secagem nestas condições é equivalente.

A Figura 16 apresenta as taxas de secagem, ou velocidades com a qual há diminuição no teor de água do material, em função da umidade adimensional para todas as condições de secagem do planejamento experimental.

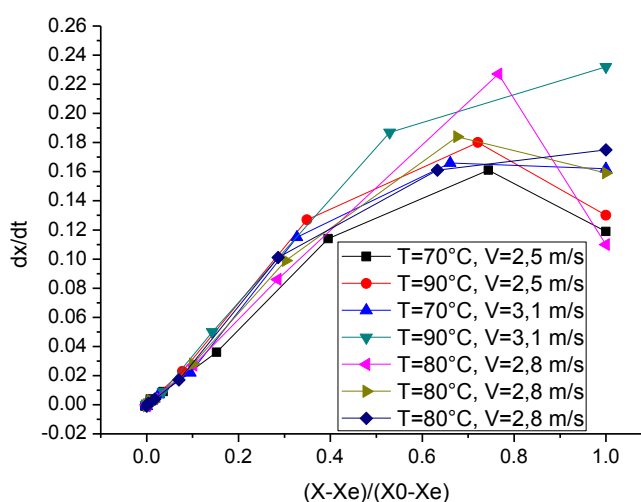


Figura 16. Taxa de secagem da casca de abacaxi em função da condição de secagem para os diferentes tratamentos.

Em relação às taxas de secagem, Figura 16, foi possível observar para todos os experimentos que há um pequeno período de indução, quando a velocidade inicial de secagem é mais alta devido ao conteúdo de água livre ser muito também ser muito alto, com exceção do experimento realizado na condição de 90°C e $3,1\text{ m/s}$ e em um dos pontos centrais. Em seguida, observou-se a presença de período decrescente de secagem, no qual a velocidade de secagem diminui com a redução da umidade do produto. Não foi observado período de taxa constante de secagem durante os processos nas condições estudadas.

Com isso percebe-se, para as condições experimentais, que há coerência em relação ao comportamento do material durante a secagem observado pelas curvas de secagem e pelas curvas de temperatura do leito e do ar e de umidade relativa. Ou seja, as variações das temperaturas e umidade relativa durante a secagem confirmam os períodos de secagem da casca de abacaxi.

Resultados semelhantes foram encontrados por Gouveia et al. (2003) ao estudar as curvas de secagem em frutos de cajá em secador de leito fixo utilizando as mesmas variáveis independentes em questão. Assim, o processo de secagem ocorreu basicamente com período de taxa decrescente para as condições estudadas, não apresentando período à taxa constante. Segundo Gouveia et al. (2003), isto pode ter ocorrido pela natureza da umidade, já que, mesmo havendo umidade superficial livre, a água pode estar na forma de suspensão nas células e na forma de solução (açúcares e outras moléculas), apresentando uma pressão de vapor inferior à da água pura.

De acordo com Park et al. (2007), para os materiais biológicos é difícil a existência de período de taxa constante de secagem, já que nas condições operacionais de secagem, as resistências à transferência de massa se encontram no interior do produto, fazendo com que a taxa de evaporação da superfície ao ambiente seja maior que a taxa de reposição de umidade do interior à superfície do material.

Em contraposto, Waughon e Pena (2006) constataram secagem à taxa constante predominantemente nos 10 primeiros minutos, ao trabalhar com a secagem do resíduo fibroso do abacaxi em secador de leito fixo.

Por meio da análise comparativa entre as curvas de secagem, ilustradas na Figura 17 (a e b) e na Figura 18 (a e b), é possível perceber a influência das variáveis do processo, pressupondo um efeito das variáveis na secagem.

A Figura 17 (a e b) ilustra a redução de umidade durante a secagem, destacando a influência da variação da velocidade do ar na curva de secagem.

Analisando a Figura 17, quando se fixa a temperatura utilizada no processo e varia apenas a velocidade do ar, é possível observar que os processos de secagem em maior temperatura (90 °C) alcançam a condição de equilíbrio em um menor tempo de processo (60 minutos), quando comparados àqueles em que se aplicam uma menor temperatura (70 °C). Estes últimos necessitam de um tempo

um pouco maior de secagem para que a condição de equilíbrio seja atingida, em 75 minutos.

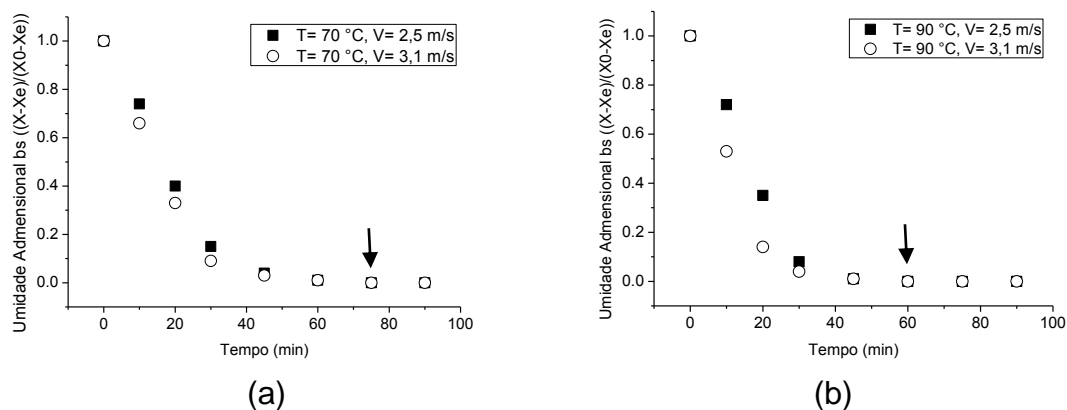


Figura 17. Curva de secagem da casca de abacaxi nos experimentos utilizando temperatura de 70 °C (a) e de 90 °C (b), com velocidades de ar de 2,5 m/s e 3,1 m/s.

Assim como Alexandre et al. (2013), em estudo da cinética de secagem em leito estático do resíduo (casca) de abacaxi (*Ananas comosus* L.) enriquecido utilizando a levedura *Saccharomyces cerevisiae*, foi possível observar que a temperatura foi a variável de maior influência no processo, sendo o tempo de secagem igual para as condições de mesmas temperaturas, ainda que com velocidades de ar distintas.

Também foi possível verificar que a queda de umidade aconteceu de forma mais rápida para condição com maior velocidade do ar (Figura 17). A diferença de decréscimo de umidade é mais destacada quando a temperatura aplicada é a de 90 °C, isso porque que a temperatura tem uma influência maior na secagem do que a velocidade do ar.

A Figura 18 (a e b) apresenta a redução de umidade durante a secagem, destacando a influência da variação da temperatura do ar na curva de secagem, mantendo a velocidade do ar constante.

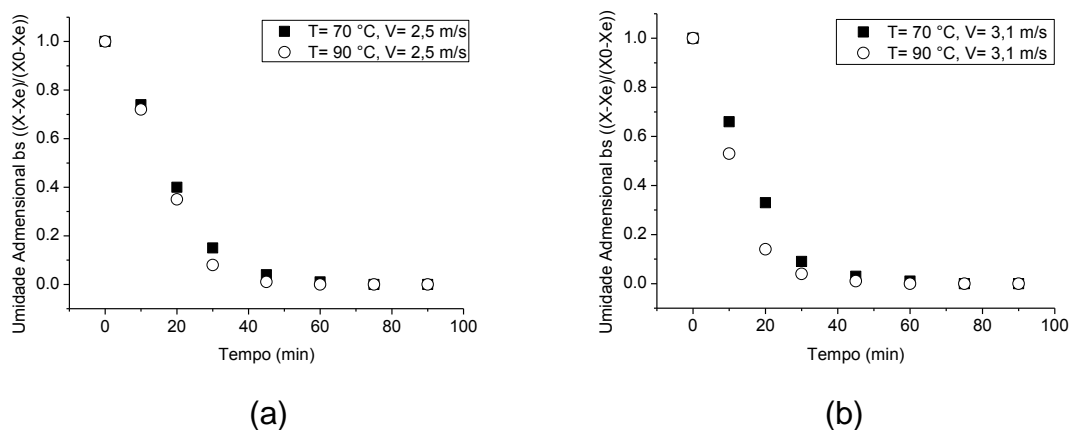


Figura 18. Curva de secagem da casca de abacaxi referente aos ensaios com utilização de velocidade de ar de 2,5 m/s (a) e de 3,1 m/s (b) em temperaturas de 70 °C e 90 °C.

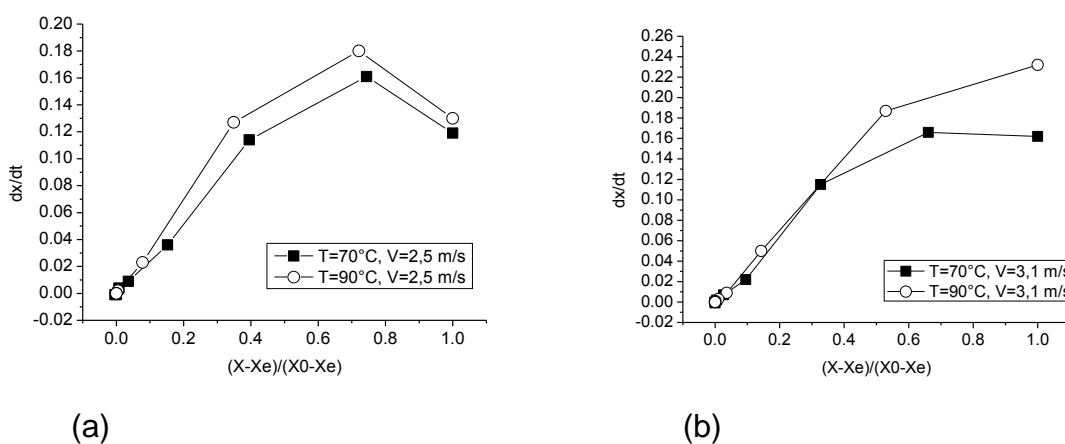


Figura 19. Taxa de secagem em razão da umidade das condições de temperaturas do ar variadas de 70° e 90°C e velocidade de ar fixa em 2,5 m/s (a) ou 3,1 m/s (b).

Assim como acontece quando se tem uma menor temperatura fixada (70 °C), observa-se que fixando a menor velocidade de ar (2,5 m/s) não há variação na curva de secagem (Figura 18), sendo as mesmas similares. O mesmo fenômeno pode ser observado nas curvas de taxas de secagem (Figura 19 a e b). Ao contrário, quando a maior velocidade do ar foi utilizada (3,1 m/s), mais destacada ficou a diferença na cinética e na taxa de secagem (Figura 19 a e b).

Assim, para a taxa de secagem, quando a velocidade de ar é de 3,1 m/s, há uma diminuição no período de indução. Este período, no entanto, é ausente quando a secagem ocorre à temperatura mais elevada, de 90°C.

Os valores de umidade obtidos ao final dos ensaios para as amostras secas, expressos tanto em base úmida, quanto em adimensional de base seca (X/X_0), encontram-se na Tabela 3.

Tabela 3. Umidade em base úmida e umidade adimensional em base seca das amostras secas obtidas em cada condição de secagem após 90 minutos

Ensaio	Condições de secagem		Umidade (%Xbu)	Umidade adimensional (X/X0bs)
	T. (°C)	V. (m/s)		
1	70	2,5	10 ± 2	0,023
2	70	3,1	3,4 ± 0,2	0,018
3	90	2,5	8 ± 2	0,007
4	90	3,1	3,1 ± 0,3	0,007
5	80	2,8	5,0 ± 0,5	0,011
6	80	2,8	5,3 ± 0,3	0,011
7	80	2,8	6,3 ± 0,7	0,014

Os efeitos exercidos pela temperatura e velocidade do ar foram determinados pela análise estatística em nível de 95% de significância e têm seus dados relacionados à umidade, expressa em base úmida e em adimensional de base seca, apresentados na Tabela 4 e ilustrados na Figura 20, com os diagramas de Pareto.

Observando a Tabela 4 verificou-se que, das variáveis operacionais estudadas, a temperatura foi a que exerceu efeito significativo sobre a umidade final do produto, observada tanto em base úmida (%Xbu), quanto adimensional em base seca (X/X_0bs), com um limite de confiabilidade de 95%. Assim, com o valor negativo do efeito, pode-se afirmar, com 95% de confiança, que quanto maior é a temperatura aplicada no sistema, menor é a umidade final do produto, sendo esta alcançada em um menor tempo de secagem. Para a velocidade também não foi observado o efeito significativo ($p < 0,05$), apesar de a variável

apresentar valor negativo. Segundo Godoi (2009), há um aumento do coeficiente de transferência de calor convectivo quando há aumento da velocidade do ar, promovendo uma elevação na temperatura da amostra e da difusividade efetiva.

Tabela 4. Estimativa dos efeitos sobre o parâmetro de umidade expresso em base úmida e adimensional em base seca

	Umidade (%Xbu)		Umidade (X/X0bs)	
	Efeito	p	Efeito	p
Média	5,887	0,002	0,013	0,003
(X1) Temperatura	-5,724	0,013	-0,014	0,016
(X2) Velocidade do ar	-1,091	0,241	-0,003	0,286
$X_1 * X_2$	0,827	0,338	0,003	0,286

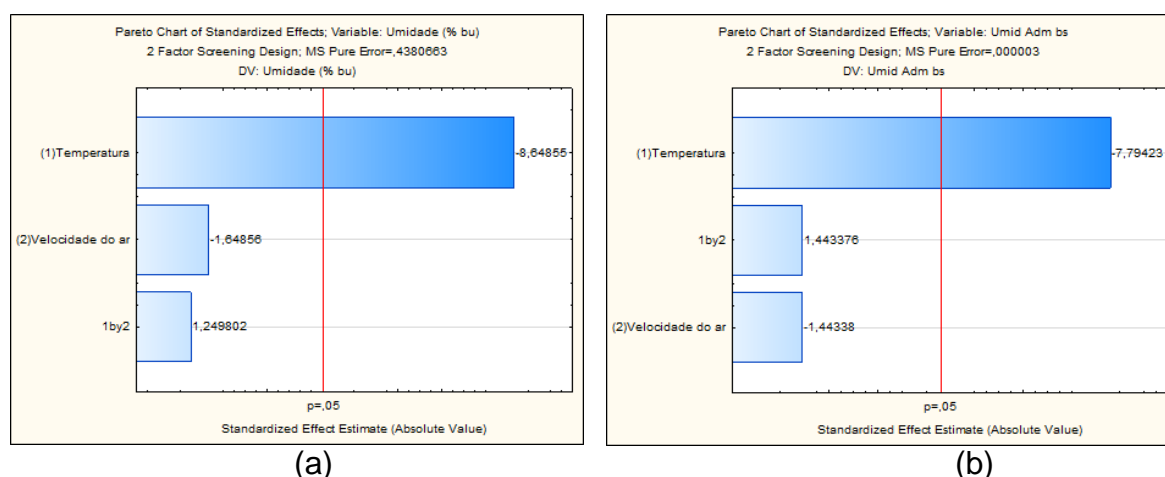


Figura 20. Diagramas de Pareto para a resposta de umidade em % de base úmida (a) e umidade adimensional em base seca (b).

A Tabela 5 apresenta os coeficientes de regressão que tiveram efeito significativo em nível de 5% de significância sobre a umidade em base úmida (%X b.u) e adimensional em base seca (X/X0bs). Os demais foram eliminados para dar sequência à avaliação estatística.

Tabela 5. Coeficiente de regressão para umidade em base úmida (%Xb.u) e umidade adimensional em base seca (X/X0bs)

		Coef. de regressão	Erro puro	p	R ²
% Xbu	Média	5,887	0,250	0,002	0,9067
	(1)Temperatura do ar (°C)	-2,862	0,331	0,013	
X/X0bs	Média	0,0130	0,0007	0,0025	0,8616
	(1)Temperatura do ar (°C)	-0,0068	0,0009	0,0161	

Os valores utilizados para os cálculos estatísticos foram os valores codificados das variáveis independentes.

Os coeficientes de regressão significativos têm um intervalo de confiança de 95% baseado no erro puro. A partir de então foram obtidos os modelos estatísticos ajustados para os valores codificados das variáveis independentes do planejamento em relação às respostas de umidade. A umidade em base úmida foi transcrita pela Equação 7 com um R² indicando que 90,67% da variação da resposta pode ser explicado pelo modelo e a umidade adimensional em base seca foi transcrita pela Equação 8 com R² explicando 86,16% da variação por meio do modelo.

$$\%Xb.u = 5,887 - 2,862 \cdot T$$

Equação 7

$$X/X0bs = 0,0130 - 0,0068 \cdot T$$

Equação 8

A significância da regressão e da falta de ajuste foi verificada pela análise de variância (ANOVA) com intervalo de confiança de 95% para validar o ajuste dos dados experimentais ao modelo proposto pelas equações obtidas.

A Tabela 6 e a Tabela 7 referem-se à análise de variância (ANOVA) para a umidade em base úmida (%b.u) e umidade adimensional (b.s), respectivamente.

Tabela 6. Análise de variância para a resposta umidade (%X b. u.)

Fonte de Variação	SQ	GL	QM	Fcal	Ftab
Regressão	32,76625	1	32,76625	48,61962	6,61
Resíduo	3,36965	5	0,67393		
Falta de ajuste	2,49352	3	0,83117	1,89737	19,16
Erro Puro	0,87613	2	0,43807		
Total	36,13591	6	6,02265		

Tabela 7. Análise de variância para a resposta umidade adimensional (b.s)

Fonte de Variação	SQ	GL	QM	Fcal	Ftab
Regressão	0,00018	1	0,00018	38,36842	6,61
Resíduo	0,00002	5	0,00000		
Falta de ajuste	0,00002	3	0,00001	1,97222	19,16
Erro Puro	0,00001	2	0,00000		
Total	0,00021	6	0,00003		

De acordo com a Tabela 6, referente à análise da umidade em base úmida, o valor de F calculado da regressão foi cerca de 7 vezes maior que o F tabelado e para a falta de ajuste, cerca de 10 vezes menor, havendo diferença significativa para regressão e não havendo para a falta de ajuste, ou seja, o modelo obtido é ajustado e válido para umidade (%Xb.u).

A Tabela 7 evidencia o valor de F calculado maior que o de F tabelado para a regressão em torno de 6 vezes, além do de F calculado em torno de 10 vezes menor que o tabelado para a falta de ajuste, o que torna possível utilizar o modelo matemático proposto pela Equação 8, com o coeficiente de correlação predizendo que 88,47% da variação total em torno da média é explicado pelo modelo para estimar a perda de umidade (X/X0bs).

5.4.2. Ajuste por modelos matemáticos

Os dados experimentais de umidade adimensional em base seca obtidos para a secagem da casca de abacaxi em leito fluidizado com diferentes

temperaturas e velocidade do ar foram ajustados por meio de regressão não-linear aos modelos exponencial e de Page (Equação 9 e Equação 10). A Tabela 8 e a Tabela 9 apresentam os valores dos parâmetros das equações, do coeficiente de correlação e da soma dos quadrados dos resíduos para as equações exponencial e de Page, respectivamente. As curvas de secagem com os dados reais e ajustados estão apresentadas na Figura 21 e Figura 22.

$$\frac{X_t - X_{eq}}{X_0 - X_{eq}} = \exp(-kt)$$

Equação 9

$$\frac{X_t - X_{eq}}{X_0 - X_{eq}} = \exp(-k_p t^n)$$

Equação 10

Sendo que:

X_t = umidade final adimensional em base seca;

X_{eq} = umidade considerada em equilíbrio (g/g ms);

K = constante de secagem obtida pelo modelo de Lewis (min^{-1});

K_p = constante de secagem obtida pelo modelo de Page;

t = tempo (min.);

n = parâmetro da equação.

Os maiores valores do coeficiente de determinação (R^2) e menores valores de qui-quadrado (χ^2), foram utilizados como base para indicar o modelo capaz de prever de maneira mais eficiente as curvas de secagem em leito fluidizado da casca de abacaxi.

Verificou-se que os valores de R^2 foram mais próximos de 1 e os de χ^2 tenderam a zero com menores valores para o ajuste ao modelo Page em relação ao modelo exponencial. Isto indica que o modelo de Page pode ser utilizado com melhores precisões na predição dos dados de secagem da casca de abacaxi em leito fluidizado, explicando mais de 99% das variações dos dados observados.

Por isso, este foi considerado o melhor modelo para prever a cinética de secagem.

Waughon e Pena (2008) também observaram que o modelo de Page foi apresentado como um dos melhores para a predição dos dados de secagem da fibra residual do abacaxi em camada delgada, merecendo destaque por apresentar apenas dois parâmetros que podem ser facilmente linearizados para serem ajustados matematicamente.

Tabela 8. Parâmetros obtidos do ajuste dos dados experimentais de secagem da casca de abacaxi ao modelo de Page

Condições de secagem		k_p (min^{-1})	n	χ^2	R^2
T ($^{\circ}\text{C}$)	V (m/s)				
70	2,5	$0,0067 \pm 0,0008$	$1,65 \pm 0,04$	0,0001	0,9996
70	3,1	$0,012 \pm 0,002$	$1,53 \pm 0,07$	0,0002	0,9986
90	2,5	$0,0047 \pm 0,001$	$1,82 \pm 0,07$	0,0001	0,9991
90	3,1	$0,017 \pm 0,002$	$1,58 \pm 0,03$	0,0001	0,9996
80	2,8	$0,002 \pm 0,001$	$1,58 \pm 0,05$	0,0004	0,9973
80	2,8	$0,0094 \pm 0,0007$	$1,62 \pm 0,03$	0,0000	0,9998
80	2,8	$0,013 \pm 0,002$	$1,52 \pm 0,06$	0,0001	0,9990

Tabela 9. Parâmetros obtidos do ajuste dos dados experimentais de secagem da casca de abacaxi ao modelo exponencial

Condições de secagem		k (min^{-1})	χ^2	R^2
T ($^{\circ}\text{C}$)	V (m/s)			
70	2,5	$0,049 \pm 0,005$	0,0044	0,9707
70	3,1	$0,056 \pm 0,007$	0,0058	0,9620
90	2,5	$0,058 \pm 0,005$	0,0029	0,9797
90	3,1	$0,081 \pm 0,007$	0,0019	0,9858
80	2,8	$0,056 \pm 0,008$	0,0078	0,9504
80	2,8	$0,058 \pm 0,005$	0,0034	0,9764
80	2,8	$0,063 \pm 0,005$	0,0026	0,9815

Avaliando-se os valores obtidos para a constante de secagem (k e k_p), observa-se que, tanto no modelo de Page quanto no modelo exponencial (Lewis),

houve uma pequena variação com o aumento da temperatura ou da velocidade de ar de secagem.

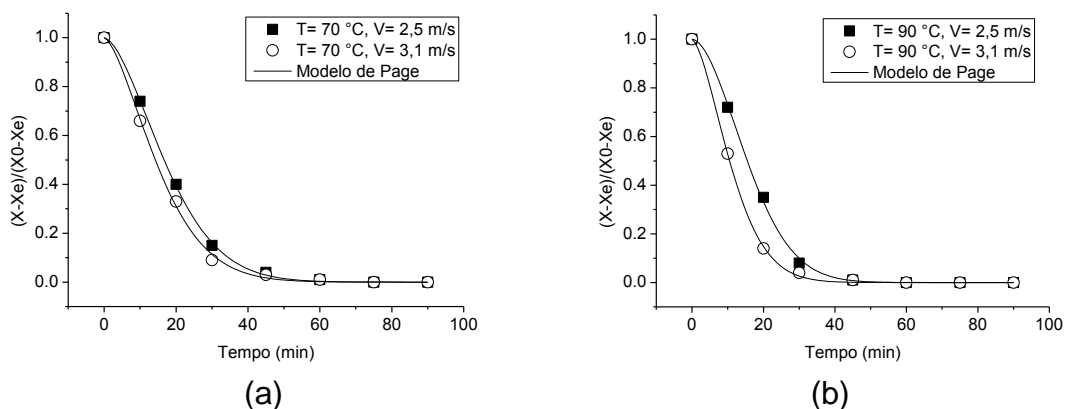


Figura 21. Ajuste das curvas de secagem da casca de abacaxi ao modelo de Page para temperaturas fixas em 70 °C (a) e 90 °C (b).

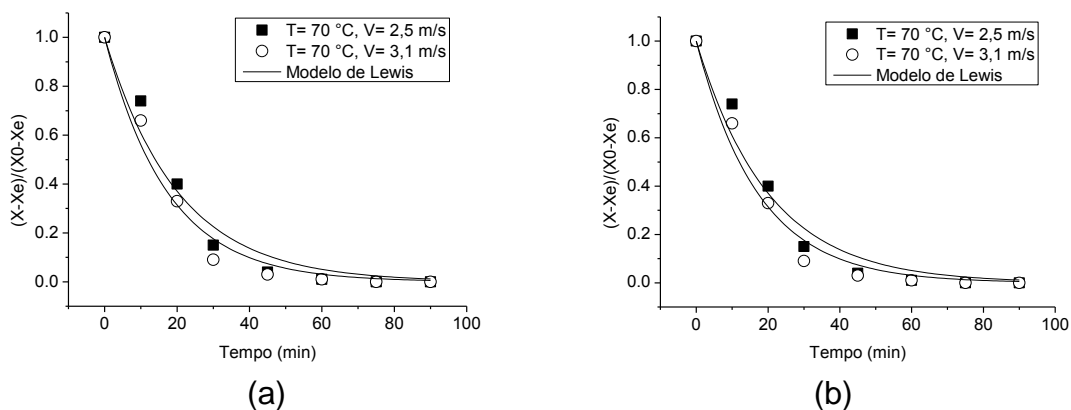


Figura 22. Ajuste das curvas de secagem da casca de abacaxi ao modelo de Lewis para temperaturas fixas em 70 °C (a) e 90 °C (b).

Os dados obtidos para os parâmetros k_P e n , por meio dos ajustes ao modelo de Page, tiveram seus efeitos analisados estatisticamente em relação às variáveis independentes temperatura e velocidade do ar utilizadas no processo. A estimativa dos efeitos tem sua representação exposta na Tabela 10 e Figura 23.

Tabela 10. Estimativa dos efeitos sobre os parâmetros k e n obtidos pelo modelo de Page

Parâmetro	k _P		N	
	Efeito	P	Efeito	p
Média	0,001463	0,040689	0,063723	0,097265
(X1) Temperatura	-0,000082	0,927822	0,003530	0,956106
(X2) Velocidade do ar	0,001350	0,235791	0,003910	0,951392
X ₁ *X ₂	-0,000248	0,787630	-0,026050	0,691575

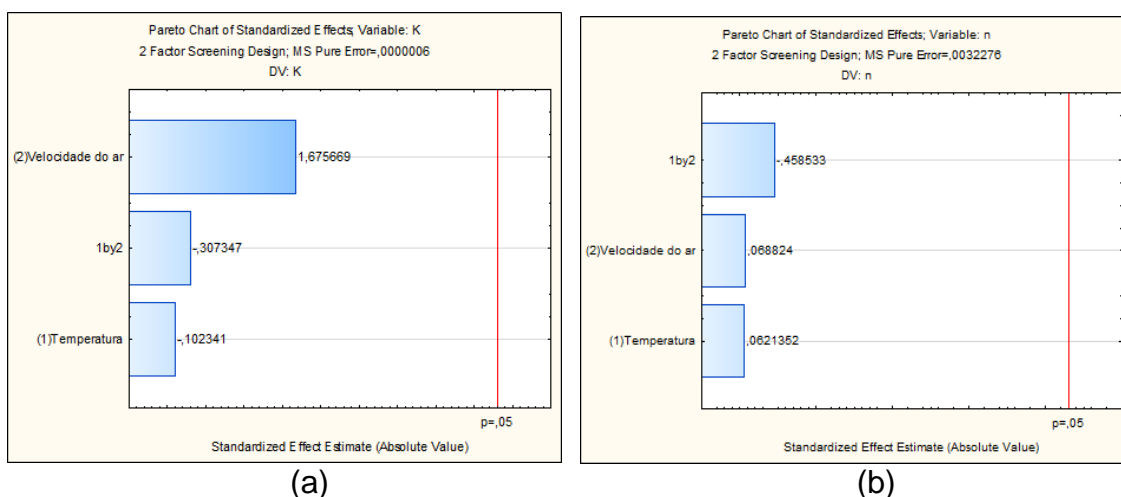


Figura 23. Diagramas de Pareto para as respostas das variáveis independentes sobre os parâmetros k (a) e n (b).

A partir da avaliação da estimativa do efeito, foi possível verificar que houve uma tendência negativa dos dados obtidos de efeito pela temperatura e interação das variáveis sobre a resposta k e pela interação das variáveis sobre a resposta n, porém estas não foram significativas em 95% de confiança. Portanto, as variáveis independentes não exerceram efeito significativo sobre os parâmetros k_P e n.

5.5. Caracterização física e química da amostra seca

A qualidade dos alimentos desidratados depende em parte das mudanças que ocorrem durante o processo de secagem e armazenamento. Algumas destas mudanças envolvem modificações na estrutura física, afetam a textura, a capacidade de reidratação (CR) e a aparência. Durante o processo de secagem convectivo, o alimento sofre perdas da qualidade tais como cor, sabor, textura, redução de compostos nutricionais e bioativos e muitas vezes uma reidratação deficiente (Meloni, 2003).

As características físico-químicas das amostras após o final de cada processo de secagem realizado de acordo com o planejamento delineado, em tempo fixo de 90 minutos, têm seus resultados apresentados na Tabela 11.

Tabela 11. Características físico-químicas das amostras secas obtidas em cada condição de secagem

Ensaio	Condições de Secagem		Atividade de Água	Capacidade de Reidratação (%)	Diâmetro médio das partículas (mm)	Atividade Antioxidante (%)
	T (°C)	V (m/s)				
1	70	2,5	0,34 ± 0,06	82 ± 1	2,41	62 ± 3
2	70	3,1	0,31 ± 0,06	84,4 ± 0,9	2,44	73 ± 5
3	90	2,5	0,119 ± 0,007	84,9 ± 0,6	2,35	74 ± 6
4	90	3,1	0,13 ± 0,02	85,0 ± 0,6	2,33	73,8 ± 0,7
5	80	2,8	0,19 ± 0,03	84 ± 1	2,48	61,8 ± 0,6
6	80	2,8	0,15 ± 0,01	80,7 ± 0,6	2,41	62 ± 3
7	80	2,8	0,17 ± 0,01	84,8 ± 0,8	2,41	69 ± 4

De acordo com os resultados obtidos, foi observado que as amostras secas em todas as condições apresentaram valores médios de atividade de água inferiores a 0,35 e para o teor de umidade, inferiores a 10% (bu). Segundo Gomes (2003), considera-se o valor limitante para a multiplicação de microrganismos a atividade de água inferior a 0,60, que juntamente a umidade inferior a 25%, denominam o alimento como de baixa umidade ou desidratado. Assim, as

amostras secas obtidas apresentam uma característica de boa estabilidade às reações químicas, físicas e ao crescimento microbiológico.

Uma característica bastante importante em produtos desidratados é sua capacidade de reidratação, que idealmente deve ser rápida e completa. A razão de absorção de água durante a reconstituição de alimentos desidratados é afetada pelo tamanho e pela forma das partículas, pelas trocas físico-químicas que ocorrem durante o processo de desidratação e pela a estocagem do produto (Aditivos e Ingredientes, S.D).

A capacidade de reidratação das amostras secas é referente à quantidade de água absorvida por 2 gramas da amostras trituradas de casca de abacaxi seco após imersão em água (100 mL) à temperatura de 100 °C por 10 minutos. Para os materiais secos, a capacidade de reidratação situou-se entre 80% e 85%, indicando que, nestas condições, os produtos secos obtidos pelos processos de secagem apresentam uma boa capacidade de reidratação.

O diâmetro médio das partículas encontrou-se entre 2,3 mm e 2,5 mm. O material obtido após os processos de secagem constituiu-se em maior fração, de 76% a 79,5%, de partículas com diâmetro médio maior ou igual a 3,3 mm, seguido de 8,3% a 10,6% das partículas com 2,84 mm e o restante, cerca de 9,8% a 15,6%, das partículas que compuseram os materiais secos, apresentaram diâmetro médio de 2,01, 1,32 ou 0,50 mm (4,3-5,1%, 4,3-5,2% e 4,0-4,8%, respectivamente) (Figura 24). Assim, foi possível constatar que houve similaridade no tamanho das partículas obtidas após os diferentes ensaios de secagem.

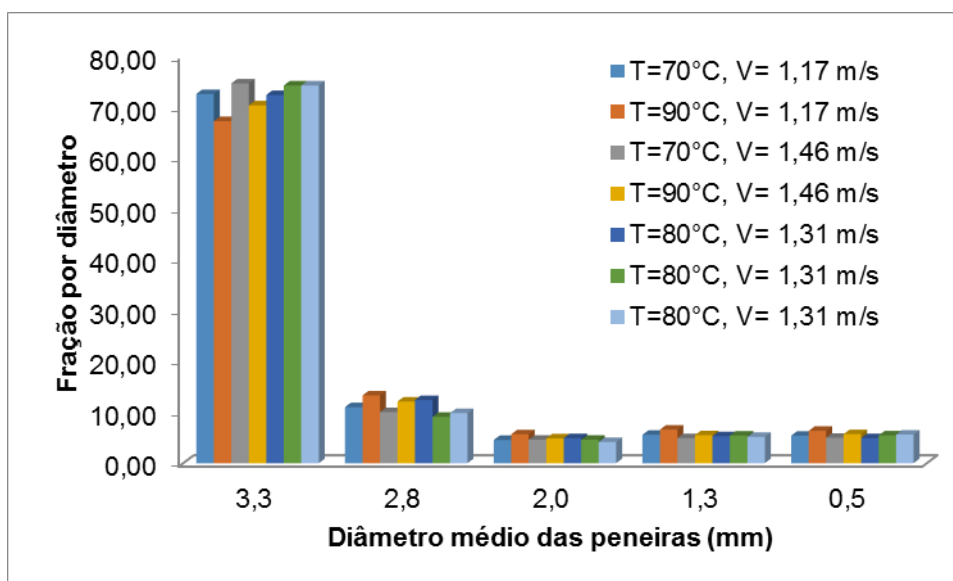


Figura 24. Distribuição do tamanho das partículas secas de acordo com a fração da amostra retida por diâmetro médio das peneiras.

A avaliação da atividade antioxidante pelo método de captura de radicais de DPPH revelou que as amostras secas, provenientes de todas as condições de secagem, possuíam boa capacidade antioxidante, com capacidade de sequestro de radical livre entre 62% a 74%.

Segundo Infante et al. (2013), os compostos polifenólicos (ácidos fenólicos e flavonoides) são os principais fitoquímicos responsáveis pela atividade antioxidante de frutas e legumes. Desta forma, a sua atividade antioxidante é aumentada de forma significativa com altos teores de polifenóis totais. De acordo com os autores, os subprodutos da industrialização de manga, goiaba, abacaxi e maracujá apresentam elevada capacidade antioxidante por terem consideráveis níveis de compostos polifenólicos.

Melo et al. (2009) identificaram o extrato aquoso de abacaxi, bem como goiaba, laranja cravo e melão japonês, como de capacidade antioxidante moderada, com 50% a 70% de sequestro de DPPH. Em estudo da capacidade antioxidante de resíduo de frutas, Infante et al. (2013) observaram que, no sistema de autooxidação do β -caroteno, os resíduos de abacaxi apresentaram boa atividade antioxidante por serem capazes de inibir a oxidação do carotenoide em

valores próximos a 50%, quando comparados ao controle contendo o volume de amostra foi substituído pelo solvente de extração.

Os dados das análises químicas e físicas realizadas nas amostras secas foram submetidos à análise estatística para verificação dos efeitos das variáveis temperatura e velocidade de ar. Os efeitos observados seguem descritos na Tabela 12 e ilustrados pelas Figura 25 e Figura 26.

Tabela 12. Efeitos das variáveis temperatura e velocidade do ar sobre a atividade de água, o diâmetro médio das partículas, a capacidade de reidratação e a atividade antioxidante da casca de abacaxi seca

	Atividade de água		Capacidade de reidratação (% CR)		Diâmetro médio das partículas (mm)		Atividade Antioxidante	
	Efeito	p	Efeito	p	Efeito	p	Efeito	p
Média	0,202	0,002	83,7329	0,0001	2,40361	0,00004	68,0571	0,0006
(X1) Temperatura	-0,199	0,012	1,8050	0,5033	-0,09077	0,14566	6,4500	0,2752
(X2) Velocidade do ar	-0,009	0,709	1,3250	0,6127	0,00221	0,95995	5,6500	0,3223
$X_1 * X_2$	0,024	0,381	-1,2750	0,6252	-0,02854	0,54089	-5,9500	0,3035

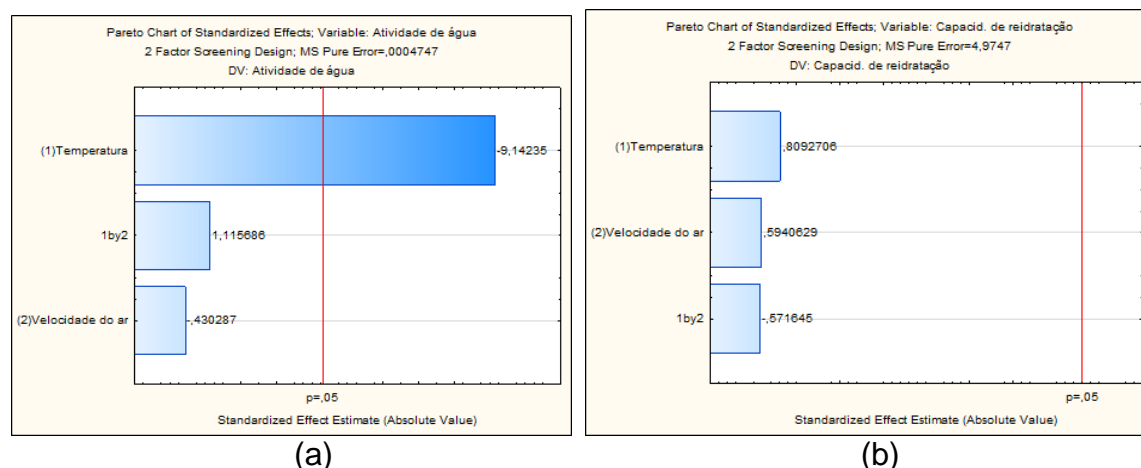


Figura 25. Diagramas de Pareto que representam os efeitos das variáveis velocidade e temperatura do ar sobre a atividade de água (a) e a capacidade de reidratação (% CR) (b).

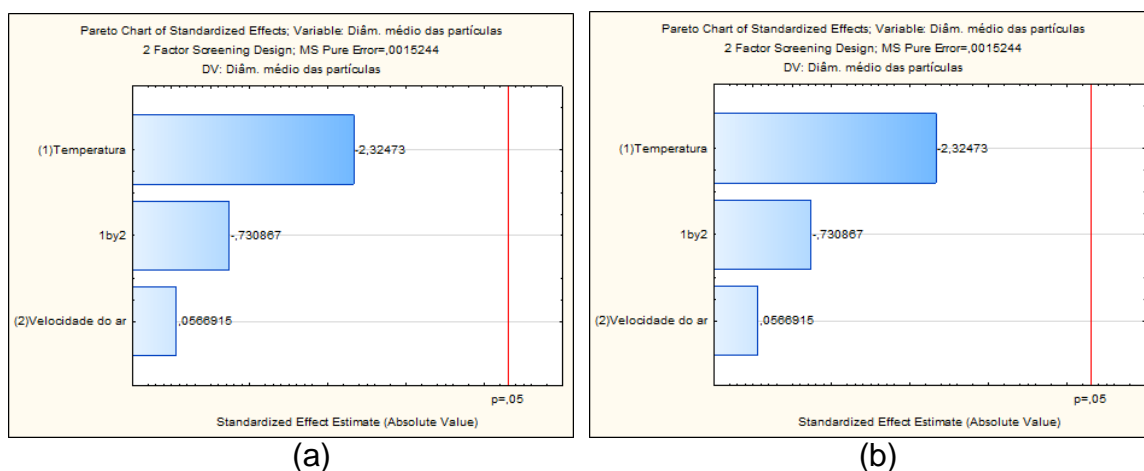


Figura 26. Diagramas de Pareto que representam os efeitos das variáveis velocidade e temperatura do ar sobre o diâmetro médio das partículas (mm) (a) e a atividade antioxidante (% AAOX) (b).

Observou-se que, das variáveis dependentes, apenas a atividade de água sofreu efeito significativo da temperatura em 95% de confiabilidade (Figura 25 a).

Após constatação de efeito significativo, a análise estatística para A_w foi sequenciada obtendo-se os dados de coeficiente de regressão da variável de efeito significativo ($p \leq 0,05$), que se encontram expostos na Tabela 13. Estes, aplicados na Equação 11, sugerem o modelo para a predição do fenômeno provocado na resposta.

Tabela 13. Coeficiente de regressão para atividade de água

	Coef. de regressão	Erro puro	p	R^2
Média	0,2023	0,0082	0,0017	0,8481
(1)Temperatura do ar (°C)	-0,0996	0,0109	0,0118	

$$A_w = 0,2023 - 0,0996 \cdot T$$

Equação 11

A análise de variância (ANOVA) para a atividade de água é apresentada na Tabela 14.

Tabela 14. Análise de variância para a resposta atividade de água

Fonte de Variação	SQ	GL	QM	Fcal	Ftab
Regressão	0,03968	1	0,03968	27,92554	6,61
Resíduo	0,00710	5	0,00142		
Falta de ajuste	0,00615	3	0,00205	4,32175	19,16
Erro Puro	0,00095	2	0,00047		
Total	0,04678	6	0,00780		

De acordo com a ANOVA para a A_w (Tabela 14), o modelo apresentado na Equação 11 explica o comportamento da influência da interação das variáveis sobre a atividade de água, com 84,81% da variação podendo ser explicada por meio do modelo desta equação, de acordo com o R^2 obtido para a mesma.

Os efeitos estimados para as demais variáveis dependentes (capacidade de reidratação, diâmetro médio das partículas e atividade antioxidante) são ilustrados pelos diagramas de Pareto nas Figura 25 e Figura 26. Observou-se que, mesmo havendo uma tendência negativa de efeito de pelo menos uma das variáveis independentes ou de sua interação sobre as respostas apresentadas na Tabela 14 e Figura 25 e Figura 26, com exceção da A_w , as variáveis independentes temperatura e velocidade do ar ou sua interação, não exerceram efeito significativo sobre a capacidade de reidratação, o diâmetro médio das partículas e a atividade antioxidante em nível de 95% de confiança.

5.6. Caracterização do chá

As características químicas do chá de abacaxi obtido a partir da infusão da casca seca triturada, referentes ao conteúdo de sólidos solúveis totais (SST), pH, acidez e *ratio*, encontram-se apresentadas na Tabela 15.

Tabela 15. Características físicas e químicas dos chás obtidos da casca de abacaxi desidratada nas condições experimentais

Condições de secagem		SST (°Brix)	pH	Acidez (g ac. cítrico/100g)	Ratio (SST/ acidez)
T (°C)	V (m/s)				
70	2,5	2,8 ± 0,7	4,64 ± 0,02	0,041 ± 0,003	66,81
70	3,1	1,8 ± 0,3	4,65 ± 0,01	0,040 ± 0,001	45,68
90	2,5	1,5 ± 0,5	4,61 ± 0,02	0,045 ± 0,003	33,15
90	3,1	2,97 ± 0,06	4,77 ± 0,03	0,045 ± 0,006	66,18
80	2,8	2,3 ± 0,6	4,59 ± 0,03	0,048 ± 0,002	48,37
80	2,8	2,7 ± 0,3	4,72 ± 0,02	0,045 ± 0,001	59,49
80	2,8	2,3 ± 0,6	4,66 ± 0,02	0,044 ± 0,003	53,06

Os valores obtidos para as características dos chás de abacaxi, preparados a partir do produto seco, são próximos para todas as condições e indicam uma provável similaridade entre os mesmos.

Os valores de pH (4,59 - 4,77) obtidos para os chás foram um pouco mais elevados que os obtidos para a matéria-prima prensada (3,90 - 4,10). Segundo Ordoñez (2005), alimentos com pH acima de 4,5 são classificados como de baixa acidez, assim, as bebidas apresentaram-se com uma acidez baixa. A concentração de ácido nas amostras, no entanto, foi cerca de 10 vezes menor que do material inicial. Esta redução pode ser explicada pela diluição dos ácidos orgânicos pela água utilizada no preparo do chá, mesmo considerando que a eliminação de água durante a secagem resulte na concentração dos componentes da casca. O fato de não ter ocorrido exata proporcionalidade das características do chá em relação ao material úmido prensado, pode ser atribuído ao efeito de extração.

Em relação ao teor de sólidos solúveis totais (SST), observou-se uma redução entre duas e cinco vezes do conteúdo inicial, o que também é decorrente da diluição durante a infusão. Em consequência às variações ocorridas na acidez

e no SST, as bebidas apresentaram elevados valores de *ratio* que aumentaram em torno de duas a quatro vezes em relação aos valores observados para a casca úmida. De acordo com Berilli et al. (2011), o *ratio* pode ser a expressão dos teores de SST e AT no abacaxi mais indicada para correlacionar esses parâmetros com a percepção sensorial da doçura e da acidez do abacaxi. Assim, os valores de *ratio* obtidos remetem a uma percepção sensorial maior da doçura em relação à da acidez no produto.

5.7. Avaliação Sensorial

De acordo com a Figura 27, é possível verificar que 53 dos 63 avaliadores (84%) gostavam muito ou extremamente de abacaxi e que 44 participantes (70%) gostavam moderadamente ou muito de chás em geral. Ainda que a maioria dos avaliadores tenha demonstrado atitude positiva - respostas entre “gosto ligeiramente” e “gosto extremamente” - em relação a chás em geral, 25% indicaram baixa frequência de consumo desse tipo de produto, ou seja, inferior a uma vez por mês.

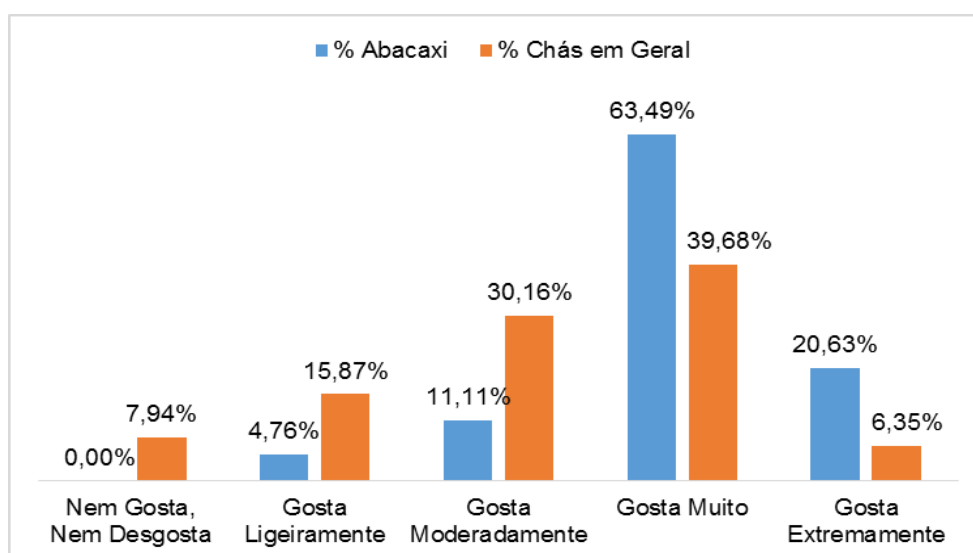


Figura 27. Atitude dos avaliadores em relação ao fruto abacaxi e chás de forma geral.

Por outro lado, proporção equivalente de indivíduos relatou consumir chás pelo menos uma vez por semana, e 75%, em frequência igual ou superior a uma vez por mês (Figura 28). Somando-se a essas estatísticas a predominância, entre os avaliadores, de atitude positiva em relação a chás: confirma-se que os participantes do teste sensorial eram consumidores potenciais de chá de abacaxi.

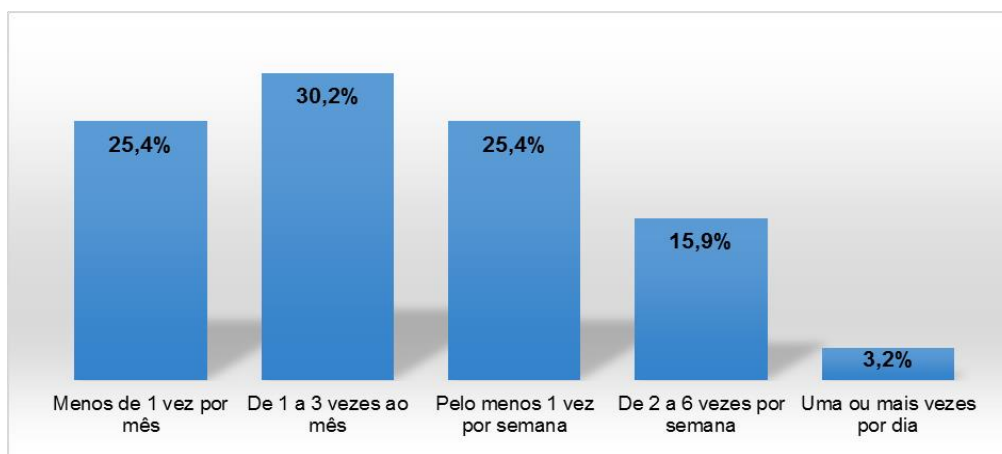


Figura 28. Respostas obtidas quanto à frequência de consumo de chás em geral pelos avaliadores.

Os resultados do teste de aceitação indicam que os avaliadores gostaram de todas as formulações de chá de abacaxi, conforme pode ser visualizado na Tabela 16. As médias de aceitação sensorial de todas as amostras em todos os atributos avaliados localizaram-se na região de aceitação (valor maior ou igual a 6, em categorias “gostei...”), com valores equivalentes entre as categorias “gostei ligeiramente” e “gostei muito”. Os resultados sugerem melhor aceitação com relação à cor e ao aroma dos chás, com médias variando entre “gostei moderadamente” e “gostei muito”, bem como para o atributo impressão global para uma das repetições do tratamento com temperatura de 80°C e velocidade do ar de 2,8 m/s.

Tabela 16. Médias de aceitação¹ sensorial das amostras de chá de abacaxi (n=63)

Condição Real		Impressão global	Cor	Aroma	Sabor
T (°C)	V (m/s)				
70	2,5	6,8	7,1	7,2	6,6
70	3,1	6,8	7,5	7,3	6,6
90	2,5	6,6	7,4	7,2	6,4
90	3,1	6,8	7,5	7,3	6,5
80	2,8	6,6	7,2	7,2	6,4
80	2,8	7,1	7,6	7,3	6,8
80	2,8	6,9	7,5	7,2	6,6

¹1: desgostei extremamente; 2: desgostei muito; 3: desgostei moderadamente; 4: desgostei ligeiramente; 5: nem gostei/nem desgostei; 6: gostei ligeiramente; 7: gostei moderadamente; 8: gostei muito; 9: gostei extremamente.

A aplicação da metodologia estatística de superfície de resposta tornou possível a estimativa do efeito da temperatura e velocidade do ar de secagem, além de suas interações, sobre a impressão global do chá de abacaxi e sobre a aceitação da cor, do aroma e do sabor, em nível de 95% de confiabilidade. A Tabela 17 expõe os resultados dessa análise, que estão ilustrados pela Figura 29.

Tabela 17. Estimativa dos efeitos para as respostas de aceitação sensorial dos atributos impressão global, cor, aroma e sabor do chá de abacaxi

	Imp. Global		Cor		Aroma		Sabor	
	Efeito	<i>p</i>	Efeito	<i>P</i>	Efeito	<i>P</i>	Efeito	<i>p</i>
Média	6,7929	0,0002	7,40571	0,00009	7,26857	0,00001	6,54714	0,00015
(X ₁) Temp. (°C)	-0,0950	0,7480	0,12000	0,58711	-0,00500	0,92308	-0,17000	0,50671
(X ₂) Vel. Ar (m/s)	0,1250	0,6758	0,25000	0,31337	0,12500	0,11222	0,05000	0,83548
X ₁ *X ₂	0,0450	0,8776	-0,18000	0,43768	-0,00500	0,92308	0,00000	1,00000

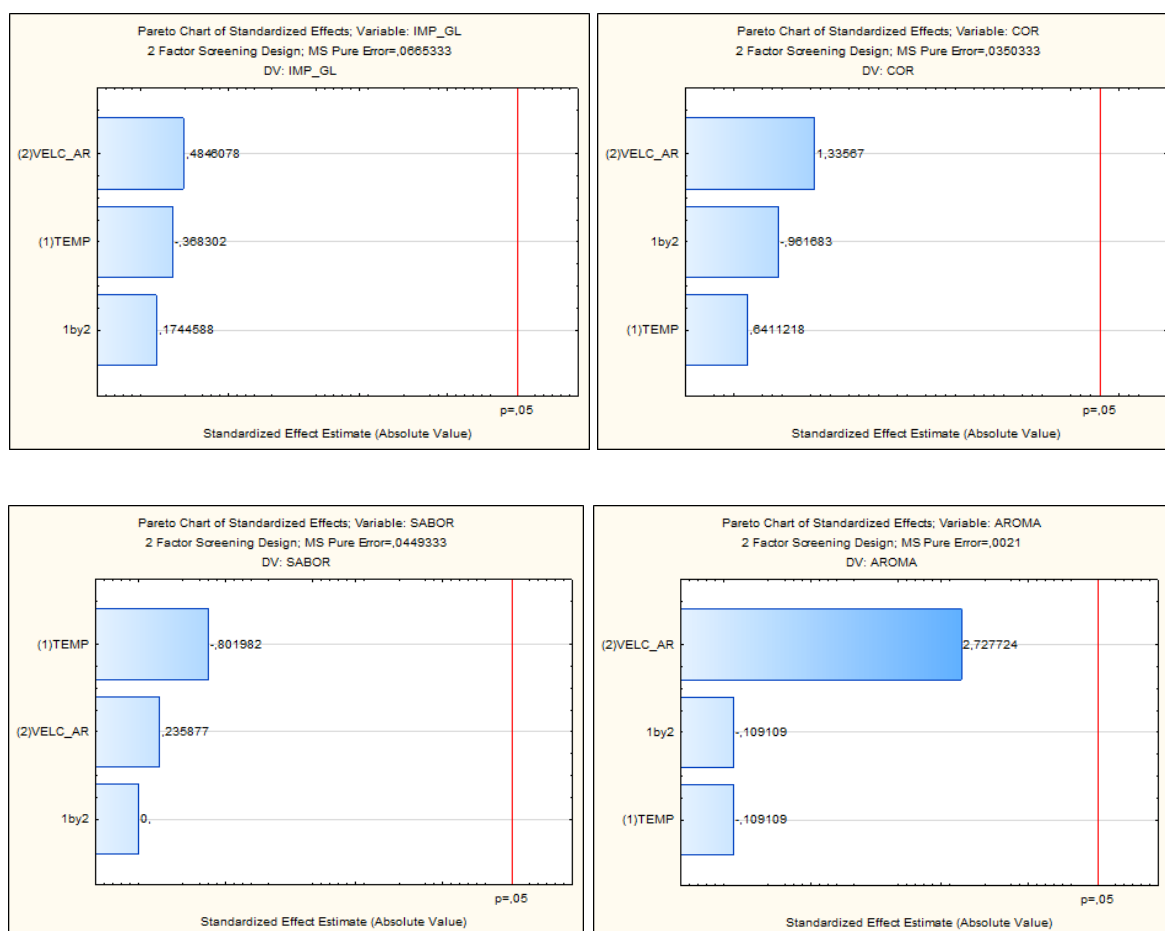


Figura 29. Diagramas de Pareto dos efeitos das variáveis independentes sobre a impressão global, a aceitação da cor, a aceitação do aroma e a aceitação do sabor do chá de abacaxi

Os atributos sensoriais hedônicos avaliados (impressão global, cor, aroma e sabor) do chá preparado a partir do produto seco não sofreram efeito significativo da temperatura e da velocidade do ar utilizados na secagem da casca de abacaxi, em nível de 95% de confiabilidade (Tabela 17 e Figura 29). Assim, o aumento da temperatura e/ou velocidade do ar de secagem não provocou alteração significativa, com 95% de confiança, na aceitação sensorial de nenhum dos atributos avaliados.

Diante desses resultados, foi verificada a necessidade da aplicação complementar da análise da variância (ANOVA) sobre todos os dados obtidos no teste sensorial, bem como de um teste para comparação das médias de aceitação a fim de verificar se as amostras diferiam estatisticamente entre si em relação a

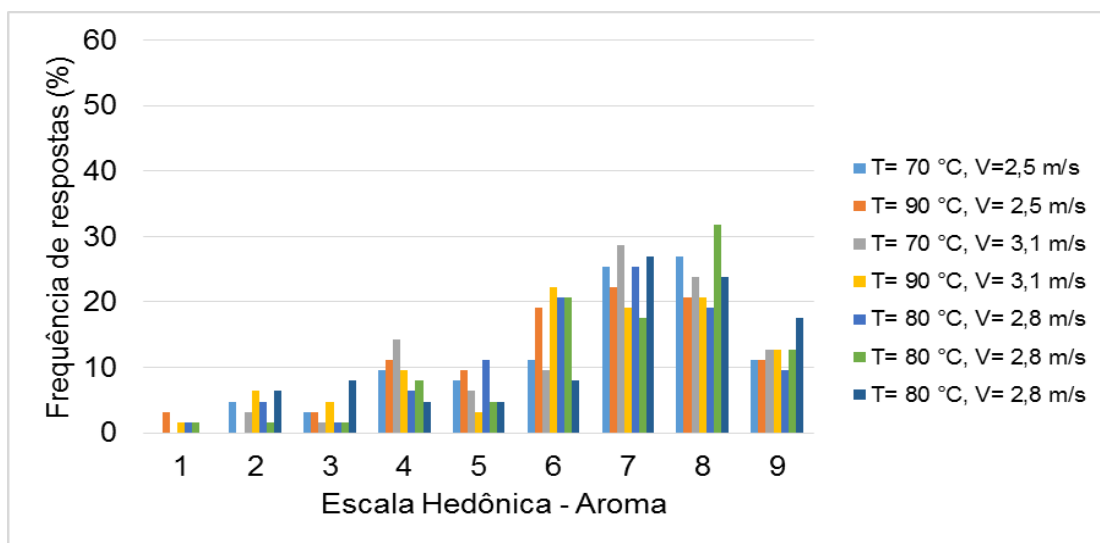
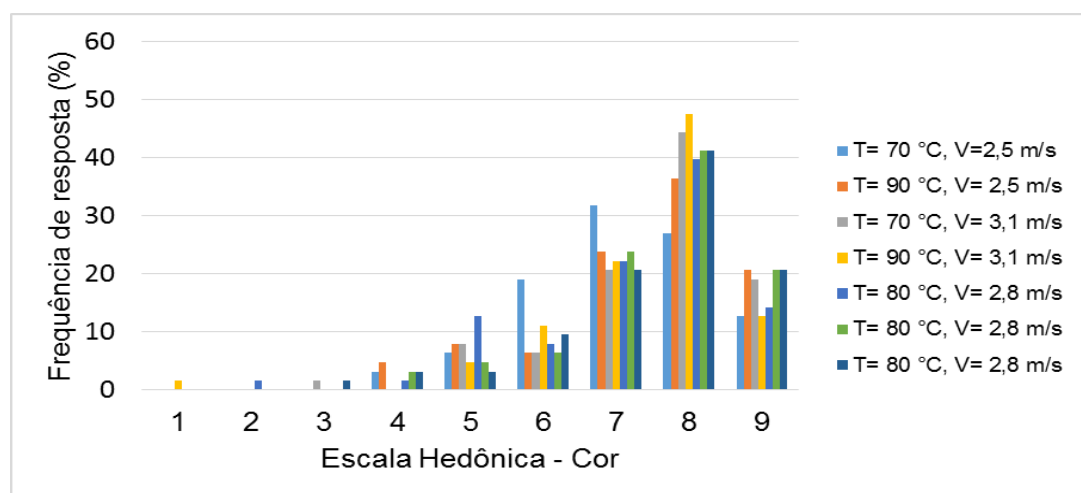
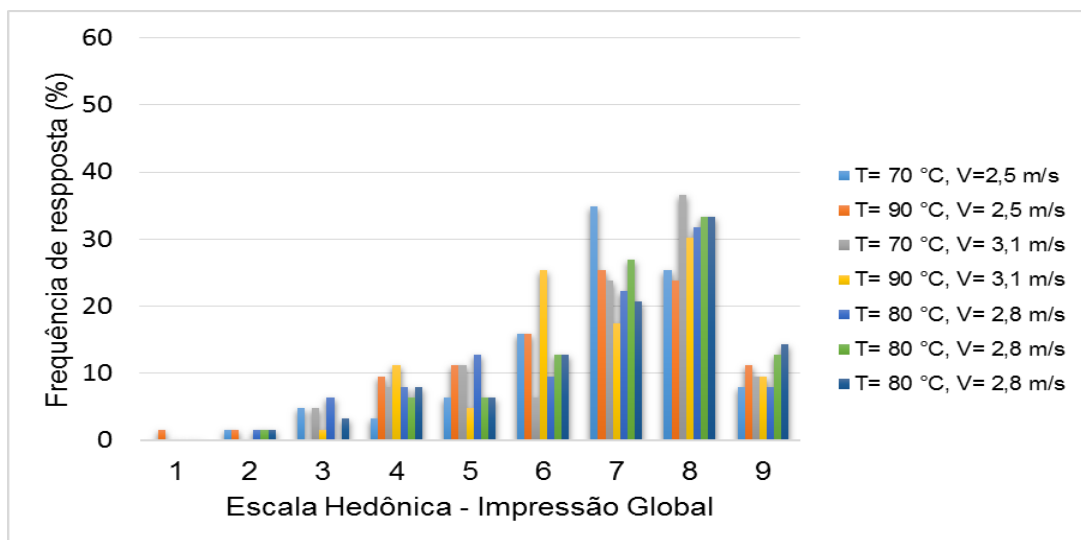
algum atributo hedônico. Assim, verificou-se que não houve diferença significativa entre as amostras em nenhum dos atributos hedônicos avaliados. Isto equivale a dizer que os chás, preparados a partir da casca de abacaxi seca nas cinco condições distintas, possuem aceitação global similar entre si, assim como com relação à cor, ao aroma e ao sabor.

Todos os dados sensoriais foram também avaliados por meio de gráficos da distribuição de frequência das respostas dos consumidores, ilustrados na Figura 30.

Pela visualização dos gráficos (Figura 30), é evidente a predominância das respostas dos avaliadores na região de aceitação da escala hedônica - entre as categorias “gostei ligeiramente” e “gostei extremamente” - para todos os atributos avaliados e para todas as amostras. As distribuições das respostas às avaliações hedônicas do aroma e sabor dos chás é que apresentaram proporções um pouco maiores das respostas na região de rejeição, ou seja, na categoria “desgostei”. De qualquer forma, nota-se concentração das respostas entre as categorias “gostei moderadamente” e “gostei muito”, indicando boa aceitação de todas as amostras pelos consumidores.

Com certeza, as características sensoriais da casca de abacaxi seca são bem mais intensas do que as do chá, em função da diluição do material seco em água. Possivelmente essa diluição contribua para a minimização das diferenças das características sensoriais entre as bebidas, diminuindo, conseqüentemente, a variabilidade das respostas afetivas dos consumidores às bebidas.

Portanto, os resultados do teste sensorial permitem afirmar que a condição ótima de secagem da casca de abacaxi Pérola para produção de chá, considerando as faixas de temperatura e velocidade do ar estudadas, pode ser definida com base em outros parâmetros de processo ou de qualidade abordados nesta pesquisa.



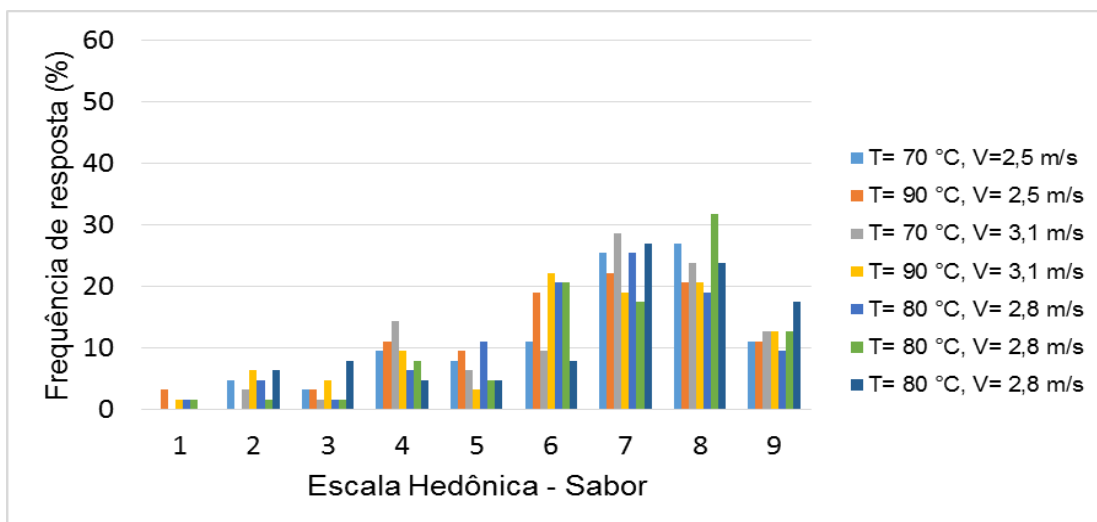


Figura 30. Distribuição de frequência das respostas dos consumidores (em %; n = 63) para a aceitação de impressão global, cor, aroma e sabor dos chás de a impressão global e aceitação da cor, aroma e sabor dos chás de abacaxi. 1: desgostei extremamente; 2: desgostei muito; 3: desgostei moderadamente; 4: desgostei ligeiramente; 5: nem gostei/nem desgostei; 6: gostei ligeiramente; 7: gostei moderadamente; 8: gostei muito; 9: gostei extremamente.

6. RESUMO E CONCLUSÕES

O abacaxi é um fruto bastante consumido em todo o mundo e muito utilizado como matéria-prima pela indústria de alimentos. A industrialização acarreta na geração de subprodutos que, apesar de serem boa fonte de nutrientes e fibras, em sua grande maioria são descartados. Com o intuito de aproveitamento da casca de abacaxi, este trabalho aborda a secagem da mesma visando seu aproveitamento como matéria-prima para produção de chá. Assim, esta pesquisa teve como objetivo avaliar os efeitos da temperatura e velocidade do ar na secagem da casca de abacaxi em secador de leito fluidizado visando aproveitamento de casca do fruto como matéria-prima para produção de chá. Foram abordados estudos da cinética do processo de secagem, da caracterização físico-química dos produtos secos obtidos, da formulação e da elaboração de chás a partir do produto seco e da avaliação da aceitação sensorial das bebidas. O processo de secagem foi realizado mediante um planejamento fatorial 2^2 com três repetições no ponto central. As variáveis independentes foram temperatura do ar, no intervalo entre 70 e 90 °C, e velocidade do ar de secagem, no intervalo entre 2,5 m/s e 3,1 m/s. O material utilizado foi a casca de abacaxi particulada, lavada e prensada, obtida de frutos de abacaxi da variedade Pérola. Foram realizadas análises químicas e físicas para caracterizar o material úmido prensado e após seco, bem como o chá elaborado com o material seco triturado. Durante a secagem foram tomadas medidas de temperaturas da amostra e do ar

de entrada e saída do processo, além da medida de umidade relativa do ar de saída. A aceitação sensorial dos chás, preparados com os produtos secos triturados foi avaliada utilizando-se a escala hedônica de 9 pontos, quanto aos atributos impressão global, cor, sabor e aroma. Os resultados mostraram que o aumento da temperatura do ar de secagem teve efeito significativo na redução da umidade e atividade de água finais. A temperatura e a velocidade do ar de secagem não exerceram efeito significativo nas características da amostra seca de capacidade de reidratação, diâmetro médio das partículas e atividade antioxidante da amostra seca. O modelo matemático de Page apresentou bom ajuste para os dados da cinética de secagem. O chá elaborado do produto seco obteve médias de aceitação entre “gostei ligeiramente” e “gostei muito” para todas as amostras e os atributos avaliados. A aceitação sensorial de nenhum dos atributos analisados sensorialmente sofreu efeito significativo das variáveis independentes e sua interação.

Foi possível concluir ao final das secagens da casca de abacaxi em leito fluidizado, que a casca de abacaxi particulada é um material de difícil fluidização devido à sua característica rugosa, sendo que as cinéticas se caracterizaram com pequeno período de indução, seguido de período decrescente de secagem e o modelo matemático de Page foi o de melhores precisões na predição dos dados da secagem.

Com aumento da temperatura há redução significativa na umidade (% X_{bu}) e na atividade de água, em nível de 95% de confiança. Para as demais respostas (capacidade de reidratação, diâmetro médio das partículas e atividade antioxidante), este efeito não foi provocado pelas variáveis independentes temperatura e velocidade do ar.

Independente do tratamento utilizado, as respostas de umidade e atividade de água alcançaram valores médios finais abaixo do considerado como estável em relação às reações químicas, físicas e microbiológicas, em um tempo inferior ao do utilizado no processo (90 minutos).

Os produtos secos obtidos em todos os tratamentos apresentaram boa capacidade de reidratação e atividade antioxidante.

A aceitação sensorial dos atributos avaliados (impressão global, cor, aroma e sabor) do chá da casca seca de abacaxi não se alterou significativamente por efeito das variáveis estudadas em 95% de confiança.

Independente do tratamento utilizado na secagem da casca de abacaxi, os chás obtiveram aceitação sensorial similar, com médias próximas a “gostei moderadamente” com relação à impressão global, cor e aroma, e, entre “gostei ligeiramente” e “muito” com relação ao sabor.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agência Nacional de Vigilância Sanitária (2005) Resolução RDC nº 277, de 22 de setembro de 2005. Regulamento Técnico para Café, Cevada, Chá, Erva-Mate e Produtos Solúveis. Diário Oficial República Federativa do Brasil, Brasília, DF.
- Aditivos e Ingredientes (S.D) Editora Insumos. Disponível em: http://www.insumos.com.br/aditivos_e_ingredientes/materias/104.pdf. Acesso em 15 de janeiro de 2014.
- Agência Nacional de Vigilância Sanitária (2006) RDC nº. 219, de 22 de dezembro de 2006. Dispõe sobre a inclusão do uso das espécies vegetais e parte(s) de espécies vegetais para o preparo de chás. Diário Oficial República Federativa do Brasil, Brasília, DF.
- Agência Nacional de Vigilância Sanitária (2007) Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 2, de 15 de janeiro de 2007 - Aprova o Regulamento Técnico sobre Aditivos Aromatizantes.
- Alexandre, H.V., Silva, F.L.H., Gomes, J.P., Silva, O.S., Carvalho, J.P.D., Lima, E.E. (2013) Cinética de secagem do resíduo de abacaxi enriquecido. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 17 (6):640–646.
- Ali, S.S., Kasoju, N., Luthra, A., Singh, A., Sharanabasava, H., Sahu, A., Bora, U. (2008) Indian medicinal herbs as sources of antioxidants. *Food Research International*. 41:1-15.
- Ambrosio-Ugri, M.C.B., Taranto, O.P. (2004) Estudo fluidodinâmico e de secagem de um particulado coesivo em leite fluidizado agitado. *Acta Scientiarum Technology*. 26 (2):97-102.

- Associação Brasileira de Normas Técnicas. Análise sensorial dos alimentos e bebidas (1993) – Terminologia – NBR 12806. São Paulo.
- Association of Official Analytical Chemists (1995) Official Methods of Analysis, Washington.
- Bengozi, F.J., Sampaio, A.C., Spoto, M.H.F., Mischán, M.M., Pallamin, M.L. (2007) Qualidades físicas e químicas do abacaxi comercializado na CEAGESP – São Paulo. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 29 (3):540-545.
- Berilli, S.S., Almeida, S.B., Carvalho, A.J.C., Freitas, S.J., Berilli, A.P.C.G., Santos, P.C. (2011) Avaliação sensorial dos frutos de cultivares de abacaxi para consumo “in natura”. *Revista Brasileira de Fruticultura*. Volume Especial:592-598.
- Brasil (2012) Ministério da Saúde. Conselho Nacional de Saúde. Comissão Nacional de Ética em Pesquisa. Aprova diretrizes e normas regulamentadoras de pesquisas envolvendo seres humanos. RESOLUÇÃO Nº196/96 versão 2012.
- Brito, C.A.K., Siqueira, P.B., Pio, T.F., Bolini, H.M.A., Sato, H.H. (2008) Caracterização físico-química, enzimática e aceitação sensorial de três cultivares de abacaxi. *Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial*. 2 (2):01-14.
- Cabral, J.R.S., Jughans, D.T. (2003) Variedades de abacaxi. *Circular Técnica 63*, Cruz das Almas – BA: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 4p.
- Cabral, J.R.S., Matos, A.P. (2005) Imperial, nova cultivar de abacaxi. *Comunicado técnico 114*, Cruz das Almas – BA: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 4p.
- Cecchi, H.M. (2003) *Fundamentos teóricos e práticos em análise de alimentos*. 2. ed. Campinas: editora da UNICAMP, 207p.
- Celestino, S.M.C. (2010) *Princípios de Secagem de Alimentos*. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 51 p.
- Chitarra, M.I.F., Chitarra, A.B.(2005) *Pós-colheita de frutos e hortaliças: Fisiologia e manuseio*. 2. ed. Lavras: UFLA. 785 p.
- Costa, J.M.C., Felipe, E.M.F., Maia, G.A., Brasil, I.M., Hernandez, F.F.H. (2007) Comparação dos parâmetros físico-químicos e químicos de pós alimentícios obtidos de resíduos de abacaxi. *Revista Ciência Agronômica*, 38 (2):228-232.
- Crespo, H.J.S. (2004) *A quimera do desenvolvimento: um estudo de caso de agricultores do Norte Fluminense*. Dissertação (Mestrado em Educação) – Niterói – RJ, Universidade Federal Fluminense – UFF, 55p.

- Crestani, M., Barbieri, R.L., Hawerthl, Carvalho, F.I.F., Oliveira, A.C. (2010) Das Américas para o Mundo - origem, domesticação e dispersão do abacaxizeiro. *Ciência Rural*, 40 (6):1473-1483.
- Cunha, G.A.P., Cabral, J.R.S., Matos, A.P., Caldas, R.C. (2007) Avaliação de genótipos de abacaxi resistentes à fusariose. *Magistra*, 19 (3):219-223.
- Dal'toé, A.T.O., Fiorese, M.L. (2012) Estudo da secagem da casca de soja para utilização com fins alimentícios. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*. 14 (4):363-372.
- Damodaran, S., Parkin, K.L., Fennema, O.R. (2010) *Química de alimentos de Fennema*. 4. ed. Porto Alegre: Arned. 900p.
- Dutcosky, S.D. (2007) *Análise sensorial de alimentos*. 2. ed. Curitiba: Champagnat. 239 p.
- Faria, E.V., Yotsuyanagi, K. (2008) *Técnicas de Análise Sensorial*. Campinas – SP: ITAL/LAFISE. 120p.
- Fellows, P.J. (2006). *Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e prática*. 2. ed. Porto Alegre: Artmed. 203p.
- Ferreira, A.S., Nascimento, D.C.O. (2007) Análise do processo de modernização da fruticultura na região norte fluminense do estado do Rio de Janeiro. *XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção*. Foz do Iguaçu, Brasil.
- Foust, A.S., Wenzel, I.A., Clump, C.W. (2008) *Princípios de operações unitárias*, 2. ed. Rio de Janeiro: ITC, 670p.
- Franco, G. (2001) *Tabela de composição química dos alimentos*. 9. ed. São Paulo: Atheneu. 307p.
- Freire, J.T., Silveira, A.M. (2009) *Fenômenos de transporte em sistemas particulados: fundamentos e aplicações*. Universidade Federal de São Carlos. Departamento de engenharia química. São Carlos, SP.
- Garmus, T.T., Bezerra, J.R.M.V., Rigo, M., Córdova, K.R.V. (2009) Elaboração de biscoitos com adição de farinha de casca de batata (*Solanum tuberosum L.*). *Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial*. 3 (2):56-65.
- Godoi, F.C. (2009) *Fluidodinâmica e secagem do polihidroxibutirato (PHB) em leite fluidizado pulsado rotativo*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Campinas – SP, Faculdade de Engenharia Química – Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP.
- Gomes, J.C. (2003) *Análises de Alimentos*. 2 ed. FUNABRE: Viçosa, 154p.

- Gouveia, J.P.G., Almeida, F.A.C., Farias, E.S., Silva, M.M., Chaves, M.C.V., Reis, L.S. (2003) Determinação das curvas de secagem em frutos de cajá. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*. Especial. 1:65-68.
- Infante, J., Selani, M.M., Toledo, N.M.V., Silveira-Diniz, M.F., Alencar, S.M., Spoto, M.H.F. (2013) Atividade antioxidante de resíduos. *Alim. Nutr.= Braz. J. Food Nutr.* 24 (1):87-91.
- INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (2009) *Programa de análise de produtos: Relatório sobre análise em chás*. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Rio de Janeiro. 17.p
- INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. *Chá - Informações ao Consumidor*. Disponível em: < <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/produtos/cha.asp?iacao=imprimir>>. Acesso em 01 de fevereiro de 2014.
- Instituto Adolfo Lutz, (2008) Métodos físico-químicos para análise de alimentos. São Paulo: *Instituto Adolfo Lutz*. 1020 p.
- IAC – Instituto Agrônomo de Campinas (2010) *São Paulo lança cultivar de abacaxi IAC Fantástico para substituir cultivares em uso no Brasil*. Disponível em: < <http://www.biologico.sp.gov.br/noticias.php?id=251>>. Acesso em: 29 jan. 2014.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2013) Levantamento Sistemático da Produção Agrícola – Pesquisa Mensal de Previsão e Acompanhamento das Safras Agrícolas no Ano Civil. Rio de Janeiro. 26 (11):1-80.
- Kunii, D.; Levenspiel, O (1991). *Fluidization Engineering*. Butterworth-Heinemann. USA. 2ed., 491p.
- Lemos, D.M., Oliveira, E.N.A., Santos, D.C., Sousa, E.P., Matias, L.M. (2010) Composição físico-química de resíduos de abacaxi “in natura” e desidratado. *Tecnol. & Ciên. Agropec.*, 4 (2):53-56.
- Marreiro, A.S.N., Amorin, M.M., Teixeira, P.R.S. (2010) Elaboração do chá do abacaxi (*Ananas comosus - Bromeliaceae*) e caracterização das propriedades físico-químicas e sensoriais. *Revista ACTA Tecnológica - Revista Científica*. 5(1).
- Martin, J.G.P., Júnior, M.D.M., Almeida, M.A., Santos, T., Spoto, M.H.F. (2012) Avaliação sensorial de bolo com resíduo de casca de abacaxi para suplementação do teor de fibras. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, 14 (3):281-287.

- Meilgaard, M., Civille, G.V., Carr, B.T. (2007) *Sensory Evaluation Techniques*. 4. ed. Boca Raton: CRC Press, 448p.
- Melo, T.L., Costa, C.M.L., Faria, L.J.G. (2009) Análise do processo de secagem em leite fluidizado de sementes de linhaça (*Linum usitatissimum* L.). *VIII Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica*. Uberlândia, Minas Gerais.
- Meloni, P.L.S. (2003) *Desidratação de frutas e hortaliças*. Fortaleza: Instituto Frutal, 87p.
- Miguel, A.C.A., Spoto, M.H.F., Abrahão, C., Silva, P.P.M. (2007) Aplicação do método QFD na avaliação do perfil do consumidor de abacaxi pérola. *Ciência Agrotécnica*, 31 (2):563- 569.
- Morais, S.M., Cavalcanti, E.S.B., Costa, S.M.O., Aguiar, L.A. (2009) Ação antioxidante de chás e condimentos de grande consumo no Brasil. *Revista Brasileira de Farmacognosia*. 19 (1B):315-320.
- Morgado, I.F., Aquino, C.N.P., Terra, D.C.T. (2004) Aspectos econômicos da cultura do abacaxi: sazonalidade de preços no estado do rio de janeiro. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 26 (1):44-47.
- Neto, B.B., Scarminio, I.S., Bruns, R.E. (2001) *Como Fazer Experimentos: Pesquisa e Desenvolvimento na Ciência e na Indústria*. 1. ed. Campinas: EDUNICAMP.
- Nishiyama, M.F., Costa, M.A.F., Costa, A.M., Souza, C.G.M., Bôer, C.G., Bracht, C.K., Peralta, R.M. (2010) Chá verde brasileiro (*Camellia sinensis* var *assamica*): efeitos do tempo de infusão, acondicionamento da erva e forma de preparo sobre a eficiência de extração dos bioativos e sobre a estabilidade da bebida. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*. 30 (1):191-196.
- Nitz, M. (2006) *Fluidodinâmica, secagem e recobrimento em leite pulso-fluidizado*. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Campinas – SP, Faculdade de Engenharia Química – Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP.
- Oliveira, M.P.M., Oliveira, V.L.M.I., Nakayama, V.L.T., Freire, L.J. (2008) *Análise sensorial*. Secretaria municipal de gestão coordenadoria de gestão bens e serviços departamento da merenda escolar. Prefeitura Municipal de São Paulo.
- Ordenez, J.A. (2005) *Tecnologia de Alimentos: componentes dos alimentos e processos*. 1. ed. Porto Alegre: Artmed. 294p.
- Park, K.J., Antonio, G.C., Oliveira, R.A., Park, K.J.B. (2006) *Seleção de Processos e Equipamentos de Secagem*. Palestra 1. UNICAMP, Campinas, SP. 10p.

- Park, K.J., Antonio, G.C., Oliveira, R.A., Park, K.J.B. (2007) *Conceitos de processo e equipamentos de secagem*. CTEA. UNICAMP, Campinas, SP. 121p.
- Pedreira, A.C.C., Naves, R.V., Nascimento, J.L. (2008) Variação sazonal da qualidade do Abacaxi cv. Pérola em Goiânia, estado de Goiás. *Pesquisa Agropecuária Tropical*. 38 (4):262-268.
- Peryam, D.R., Girardot, N. (1952) Advanced taste-test method. *Food Engineering*, 24 (7):58-61.
- Poll, H., Kist, B.B., Santos, C.E., Reetz, E.R., Carvalho, C., Silveira, D.N. (2013) *Anuário brasileiro da fruticultura 2013*. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta Santa Cruz, 136p.
- Prado, I.N., Lallo, F.H., Zeoula, L.M., Neto, S.F.C., Nascimento, H.G., Marques, J.A. (2003) Níveis de Substituição da Silagem de Milho pela Silagem de Resíduo Industrial de Abacaxi sobre o Desempenho de Bovinos Confinado. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 32 (3):737-744.
- Quintero, A.C.F. (2007) *Desidratação de abacaxi: modelos de secagem, avaliação de qualidade e efeito de embalagem*. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Viçosa – MG, Universidade Federal de Viçosa – UFV, 56p.
- Rosa, M.F., Souza Filho, M.S.M., Figueiredo, M.C.B., Morais, J.P.S., Santaella, S.T., Leitão, R.C. (2011) *Valorização de resíduos da agroindústria*. II Simpósio Internacional sobre Gerenciamento de Resíduos Agropecuários e Agroindustriais – II SIGERA - Foz do Iguaçu, PR.
- Roesler, R., Malta, L.C., Holanda, R.B., Souza, C.A.S., Pastore, G.M. (2007) Atividade antioxidante de frutas do cerrado. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 27:53-80.
- Sandri, D.O., Porto, A.G., Silva, F.S., Pastro, D.C., Paglarini, C.S. (2011) Análise físico-química do abacaxi cultivar pérola na forma “in natura” em diferentes posições do fruto: cilindro central e polpa. *Enciclopédia Biosfera*, 7(13).
- Santiago, A.M. (2008) *Apostila do curso de tecnologia de alimentos*. Universidade Estadual de Ciências e Tecnologia. Campina Grande.
- Schmitz, W., Saito, A.Y., Estevão, D., Saridakis, H.O. (2005) O chá verde e suas ações como quimioprotetor. *Semina: Ciências Biológicas e da Saúde*, 26 (2):119-130.
- Silva, A.F.R. (2006a) *Geléias convencional e light elaboradas a partir do aproveitamento de resíduos gerados na agroindústria do Abacaxi (Ananas comosus (L))*. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Agroindustrial) – Pelotas – RS, Universidade Federal de Pelotas – UFPEL.

- Silva, L.C. (2006b) *Processamento de Alimentos*. Boletim Técnico. Universidade Federal do Espírito Santo. Alegre – ES.
- Strumillo, C., Kudra, T. (1930) *Drying: Principles, applications and design*. Institute of Chemical Engineering. v.3, Lodz Technical University, Poland.
- TACO – Tabela brasileira de composição de alimentos (2011) *NEPA – Núcleo de Estudos e pesquisas em Alimentação – UNICAMP*.- 4. ed. - Campinas: NEPAUNICAMP, 161 p.
- Teixeira, L.J.Q., Pereira, J.M.A.T.K., Silva, N.M., Reis, F.P. (2006) Hábitos de consumo de frutas entre estudantes da Universidade Federal de Viçosa. *Ceres*, 53 (307):366-373.
- Vasconcelos, M.A.S., Filho, A.B.M. (2010) *Conservação de alimentos*. Programa Escola Técnica Aberta Brasil (ETEC – Brasil). Recife: EDUFRE. 130p.
- Ventura, A.J., Cabral, J.R.S., Matos, A.P., Costa, H. (2006) 'Vitória', cultivar de abacaxi resistente à fusariose. Documentos nº 148, Vitória: INCAPER.
- Vilela, C.A.A., Artur, P.O. (2008) Secagem do açafrão (*Curcuma longa* L.) em diferentes cortes geométricos. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 28 (2):387-394.
- Waughon, T.G.M., Pena, R.S. (2006) Estudo da secagem da fibra residual do abacaxi. *Alimentos e Nutrição*. 17 (4):373-379.
- Waughon, T.G.M., Pena, R.S. (2008) Modelagem da secagem em camada delgada da fibra residual do abacaxi. *B.CEPPA*, 26 (2):297-306.

Anexo I

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO ANÁLISE SENSORIAL DE CHÁ DE ABACAXI

Esta é uma avaliação sensorial (degustação) de **Chá de abacaxi** e corresponde a uma das etapas de uma pesquisa de Mestrado em Produção Vegetal, do Laboratório de Tecnologia de Alimentos da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Esta etapa tem como objetivo avaliar a aceitação sensorial por consumidores potenciais do produto. Os abacaxis utilizados como matéria-prima foram adquiridos de um mesmo produtor rural da região e cultivados segundo as Boas Práticas Agrícolas. Os chás foram produzidos com a casca dos abacaxis, devidamente higienizadas, sendo obedecidas as normas da legislação brasileira de Boas Práticas de Fabricação/Manipulação de Alimentos em todas as etapas experimentais, garantindo a segurança dos avaliadores.

Será necessário que cada participante do teste realize duas sessões de avaliação, com intervalo mínimo de 1 hora entre uma e outra sessão, que poderão ser realizadas em um mesmo dia ou em dois dias consecutivos.

Todas as informações obtidas neste estudo serão confidenciais e usadas estritamente para fins de pesquisa.

Caso você tenha interesse em **PARTICIPAR VOLUNTARIAMENTE** desta pesquisa e **NÃO possua nenhum IMPEDIMENTO DE SAÚDE** para consumir este produto, por favor, preencha esta ficha e assine-a, expressando o seu consentimento.

NOME:

SEXO: () M () F

FAIXA ETÁRIA: () < 18 anos () 18 a 24 anos () 25 a 34 anos
() 35 a 49 anos () 50 a 60 anos () > 60 anos

Você tem ou já teve alergia a algum alimento.

() Sim () Não Qual (is)?

Por favor, indique, utilizando as escalas abaixo, o quanto você **NORMALMENTE** gosta ou desgosta dos seguintes produtos:

ABACAXI

- () Gosto extremamente/ adoro
 () Gosto muito
 () Gosto moderadamente
 () Gosto ligeiramente
 () Nem gosto/ nem desgosto
 () Desgosto ligeiramente
 () Desgosto moderadamente
 () Desgosto muito
 () Desgosto extremamente / detesto
 extremamente/detestos

CHÁS EM GERAL

- () Gosto extremamente/ adoro
 () Gosto muito
 () Gosto moderadamente
 () Gosto ligeiramente
 () Nem gosto/ nem desgosto
 () Desgosto ligeiramente
 () Desgosto moderadamente
 () Desgosto muito
 () Desgosto

Com que frequência você costuma tomar chá?

- () Uma ou mais vezes por dia
 () De duas a seis vezes por semana
 () Pelo menos uma vez por semana
 () De uma a três vezes ao mês
 () Pelo menos uma vez por mês
 () Menos de uma vez por mês

CONTATOS:

LABORATÓRIO: _____ PRÉDIO: _____ RAMAL: _____

CEL:(_____) _____ E-MAIL: _____

Expresso minha concordância pela participação voluntária na avaliação sensorial acima citada. DATA: _____

ASSINATURA

DE

CONSENTIMENTO: _____

Anexo II

Nome: _____ Data: ___/___/___

Idade: _____ Sexo: F () M ()

Você está recebendo três amostras codificadas de **CHÁ DE ABACAXI**. Por favor, avalie-as, da esquerda para a direita, utilizando as escalas abaixo para indicar o quanto você gostou ou desgostou de cada uma de forma global (IMPRESSÃO GLOBAL) e com relação à COR, ao AROMA e ao SABOR.

Código da Amostra: _____

	Impressão Global	Cor	Aroma	Sabor
Gostei extremamente				
Gostei muito				
Gostei moderadamente				
Gostei ligeiramente				
Nem gostei / nem desgostei				
Desgostei ligeiramente				
Desgostei moderadamente				
Desgostei muito				
Desgostei extremamente				

Comentários:

Anexo III

		Amostra							
		Sessão 1					Sessão 2		
Bloco	Consumidor	1	2	3	4		5	6	7
1	1	1	2	7	3		6	4	5
	2	2	3	1	4		7	5	6
	3	3	4	2	5		1	6	7
	4	4	5	3	6		2	7	1
	5	5	6	4	7		3	1	2
	6	6	7	5	1		4	2	3
	7	7	1	6	2		5	3	4
2	8	1	7	2	6		3	5	4
	9	2	1	3	7		4	6	5
	10	3	2	4	1		5	7	6
	11	4	3	5	2		6	1	7
	12	5	4	6	3		7	2	1
	13	6	5	7	4		1	3	2
	14	7	6	1	5		2	4	3
3	15	1	5	4	2		7	6	3
	16	2	6	5	3		1	7	4
	17	3	7	6	4		2	1	5
	18	4	1	7	5		3	2	6
	19	5	2	1	6		4	3	7
	20	6	3	2	7		5	4	1
	21	7	4	3	1		6	5	2
4	22	1	4	5	7		2	3	6
	23	2	5	6	1		3	4	7
	24	3	6	7	2		4	5	1
	25	4	7	1	3		5	6	2
	26	5	1	2	4		6	7	3
	27	6	2	3	5		7	1	4
	28	7	3	4	6		1	2	5
5	29	1	3	6	5		4	7	2
	30	2	4	7	6		5	1	3
	31	3	5	1	7		6	2	4

	32	4	6	2	1		7	3	5
	33	5	7	3	2		1	4	6
	34	6	1	4	3		2	5	7
	35	7	2	5	4		3	6	1

6	36	1	6	3	4		5	2	7
	37	2	7	4	5		6	3	1
	38	3	1	5	6		7	4	2
	39	4	2	6	7		1	5	3
	40	5	3	7	1		2	6	4
	41	6	4	1	2		3	7	5
	42	7	5	2	3		4	1	6

7	43	1	2	7	3		6	4	5
	44	2	3	1	4		7	5	6
	45	3	4	2	5		1	6	7
	46	4	5	3	6		2	7	1
	47	5	6	4	7		3	1	2
	48	6	7	5	1		4	2	3
	49	7	1	6	2		5	3	4

8	50	1	7	2	6		3	5	4
	51	2	1	3	7		4	6	5
	52	3	2	4	1		5	7	6
	53	4	3	5	2		6	1	7
	54	5	4	6	3		7	2	1
	55	6	5	7	4		1	3	2
	56	7	6	1	5		2	4	3

9	57	1	5	4	2		7	6	3
	58	2	6	5	3		1	7	4
	59	3	7	6	4		2	1	5
	60	4	1	7	5		3	2	6
	61	5	2	1	6		4	3	7
	62	6	3	2	7		5	4	1
	63	7	4	3	1		6	5	2