

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO

ENGENHARIA DE PROCESSOS

**ESTUDO DA RETENÇÃO DE AROMA DE
ABACAXI NA SECAGEM EM ATMOSFERA
NORMAL E MODIFICADA**

Autor: Marcilio Machado Morais

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Maria Aparecida Silva

Tese de Doutorado apresentada à Faculdade de Engenharia Química como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Doutor em Engenharia Química

Campinas – São Paulo

Dezembro de 2005

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE -
UNICAMP

M792e Moraes, Marcilio Machado
 Estudo da retenção de aroma de abacaxi na secagem
 em atmosfera normal e modificada / Marcilio Machado
 Moraes.--Campinas, SP: [s.n.], 2005.

 Orientador: Maria Aparecida Silva
 Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de
 Campinas, Faculdade de Engenharia Química.

 1. Alimento - Desidratação. 2. Álcool. 3.
 Cromatografia de gás. 4. Análise cromatográfica. I.
 Silva, Maria Aparecida. II. Universidade Estadual de
 Campinas. Faculdade de Engenharia Química. III.
 Título.

Título em Inglês: Study of pineapple aroma retention in drying with normal
and modified atmosphere.

Palavras-chave em Inglês: Food – Dehydration, Alcohol, Chromatography
Analysis.

Área de concentração: Engenharia de Processos.

Titulação: Doutor em Engenharia Química.

Banca examinadora: Vânia Regina Nicoletti Telis, Dermeval José Mazzini
Sartori, Florência Cecília Menegalli e Theo Güenter
Kieckbusch.

Data da defesa: 19.12.2005.

Programa de Pós-Graduação: Engenharia Química.

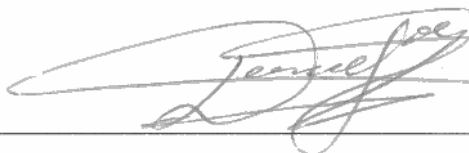
Tese de Doutorado defendida por Marcilio Machado Moraes e aprovada em 19 de dezembro de 2005 pela banca examinadora constituída pelos doutores:



Prof^ª. Dr^ª. Maria Aparecida Silva (Orientadora)
DTF/ FEQ/ UNICAMP



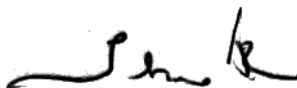
Prof^ª. Dr^ª. Vânia Regina Nicoletti Telis (titular)
DETA/ IBILCE/ UNESP



Prof. Dr. Dermeval José Mazzini Sartori (titular)
DEQ/ CCET/ UFSCar

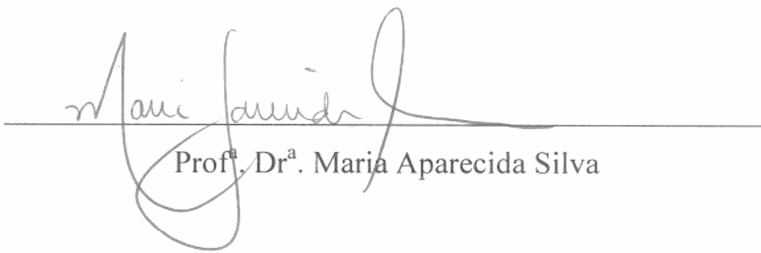


Prof^ª. Dr^ª. Florência Cecília Menegalli (titular)
DEA/ FEA/ UNICAMP



Prof. Dr. Theo Güenter Kieckbusch (titular)
DTF/ FEQ/ UNICAMP

Este exemplar corresponde à versão final da Tese de Doutorado em Engenharia Química.



Prof.ª Dr.ª. Maria Aparecida Silva

Dedico este trabalho a meus pais,
Jader e Tânia, a meus irmãos,
Deise e Marcelo e à minha
namorada Vanessa pelo amor,
carinho e incentivo que sempre me
dedicaram.

AGRADECIMENTOS

Foram muitas as pessoas importantes em minha vida. Citarei apenas algumas delas para não me estender muito, embora manterei todas guardadas em meu coração.

Agradeço inicialmente à minha orientadora Maria Aparecida Silva pela orientação que me foi dada e pelos diversos ensinamentos que tive com ela, em que aprendi a admirá-la com muito respeito.

Ao professor Luiz Antonio de Almeida Pinto, pelos grandes ensinamentos profissionais e de vida, contribuindo muito para que eu chegasse até aqui.

Agradeço também à FEQ e a todas as unidades da UNICAMP que foram muito importantes na minha formação. Ao professores que tive contato, em especial ao professor Antônio Carlos Lisbôa do DTF/FEQ, pela amizade, humanismo e pelo uso de seu laboratório por várias vezes e também à professora Silvia Poblete do CEL/UNICAMP, professora de espanhol, por seu grande senso de humanismo e alegria nas coisas que faz.

Agradeço aos diversos colegas da FEQ. Em especial Paulinho, Mirla e Marcel pelo companheirismo, amizade e pela grande ajuda sempre que precisei. Agradeço também a Carlo Sebok, Samira, Wanda, André Murari, Osvaldo, Marta, César, Roberto, Vanessa Perina, Adauto, Fernando, Jean, Cristiane, Mônica, Jaiana, Natália, Regina, Eurismar, Sebastião, Marina, Márcio, Manoel, Kiki, Ronaldo, Roberta e demais colegas que eu tenha esquecido, pelas amizades e momentos compartilhados. Agradeço também aos amigos Carlos Alberto e sua esposa Cláudia, que me abrigaram com muita hospitalidade em sua casa, Gilberto, André “Cajarana”, Pierre e Marcelo Pinto. Ao companheiro Uiram Kopcak, que tantas vezes debatemos nossas idéias e sonhos por um país mais justo e solidário.

Agradeço também ao Paulo Henrique, aluno de iniciação científica, à Alice que me auxiliou bastante na fase final do trabalho e à Camilla que também esteve ligada diretamente ao trabalho.

Aos os funcionários da FEQ que tive contato, principalmente ao pessoal da oficina mecânica, como o Alexandre, sempre disposto a contribuir com muita boa-vontade e incansável dedicação quando precisamos; agradeço também ao seu Waldemir e ao Edgar por terem se empenhado na elaboração de objetos que fizeram parte desse trabalho.

Agradeço também às valiosas ajudas do Rogério e da Rose do DTF/FEQ e do Valmir, técnico do laboratório de graduação da FEQ, sempre expressando uma cordial alegria.

Agradeço à atenção e profissionalismo da técnica Kelly Palma do LRAC da FEQ e à pós-graduanda Betânia do laboratório de análise de alimentos da FEA/UNICAMP, que ajudaram muito no desenvolvimento de algumas etapas do trabalho. Ao pessoal do laboratório de bioaromas da FEA/UNICAMP, dentre eles a prof^a Gláucia Pastore, os alunos Mário, Mariana e Cedenir e a técnica Angélica pelo uso do cromatógrafo gasoso.

Ao seu Nelson Benedito de Sales da oficina mecânica do IFGW/UNICAMP pelas valiosas ajudas prestadas, pela construção de peças que fizeram parte do equipamento. Agradeço muito ao Niederauer Mastelari, técnico da FEM/UNICAMP pela imprescindível ajuda na montagem do equipamento, sempre com muita dedicação e zelo.

Às pessoas que convivi na Moradia Estudantil da UNICAMP, pelas amizades e aprendizagem de diferentes visões sobre a vida, especialmente aos colegas da casa J4 Marcos (companheiro inseparável de todas as horas, boas e más. Muito obrigado por tudo meu amigo!), César Carvalho, Alberto, Antonio, João e Rogério e também ao amigo Shanti Marengo. Aos companheiros do Núcleo pela Reforma Agrária “Carlos Marighella”, onde tive o privilégio de conhecer pessoas que lutam para a construção de um mundo melhor, mais justo, humano e solidário, em que devemos ser sujeitos ativos na história.

Um agradecimento muito especial à minha namorada Vanessa Rosseto, pessoa maravilhosa que tanto amo, por ter surgido em meu caminho e por me fazer uma pessoa muito amada e respeitada! Agradeço pelo seu companheirismo, amor, respeito, resignação e pelas enormes motivações e incentivo, que tanto bem me fizeram. Minha prenda, para mim tu és a melhor pessoa que conheci, dotada de sentimentos lindos e admiráveis.

Agradeço a todos de minha família que contribuíram em minha vida. De maneira muito especial, agradeço com muito amor e carinho a meu pai Jader, minha mãe Tânia, meus irmãos Deise e Marcelo, meu sobrinho Guilherme e meu cunhado Gildo pelo seu amor, dedicação e incansável incentivo em todas as etapas de minha vida, sem os quais certamente eu não teria chegado até aqui. Queridos, o meu sincero muito obrigado!

À FAPESP pelo suporte financeiro concedido com a bolsa de Doutorado, a qual possibilitou a realização desse trabalho.

E finalmente a Deus, pela sua maravilhosa energia, ajuda e paz e também pela saúde dada, que foram imprescindíveis para a minha vida.

*Hay que endurecerse, pero sin
perder la ternura*

Che Guevara

RESUMO

Na secagem de determinados alimentos como frutas, juntamente com a água há também a evaporação de outras substâncias voláteis presentes em quantidades menores. Quando essas substâncias possuem características odoríferas, a qualidade do produto final seco pode ser prejudicada devido à diminuição do aroma. Por isso, torna-se interessante considerar nos estudos de secagem a evaporação, além da água, desses outros componentes voláteis. A modificação da atmosfera tem sido utilizada somente em armazenamento, principalmente de vegetais, mas pode também ser estendida à secagem, pois pode influenciar a perda de voláteis responsáveis pelas características sensoriais do produto final. No presente trabalho, desenvolveu-se um sistema de secagem, no qual a atmosfera de secagem pode ser modificada pela adição de gases ou líquidos. O referido sistema é composto por um túnel de secagem, feito de paredes de policarbonato e de um sistema de aquisição e controle de dados, onde se pode acompanhar continuamente o peso da amostra e controlar a temperatura do gás de secagem. As amostras submetidas à secagem foram um sistema-modelo e o abacaxi (*Smooth Cayenne*). O primeiro foi desenvolvido a partir da composição química básica do abacaxi e da adição de outros compostos, contendo um dos principais componentes do aroma desta fruta (hexanoato de etila). A atmosfera de secagem foi modificada pela adição de etanol (0,5% v/v) ao ar por meio de um bico atomizador, localizado na parte superior do túnel de secagem. Nos experimentos de secagem (temperatura: 40 e 60°C; velocidade do gás de secagem: 0,42 e 0,84 m/s; umidade relativa do gás de secagem: 8 e 23%), acompanhou-se a variação do teor de água com o tempo e a variação do teor dos componentes do aroma, sendo estes últimos determinados por cromatografia gasosa. Desenvolveu-se a metodologia analítica de determinação do aroma em ambos os sistemas, a partir dos estudos de extração de aromas e de análise cromatográfica gasosa. O aroma presente no sistema-modelo foi extraído em hexano e os componentes voláteis do aroma do abacaxi foram extraídos em éter etílico. A modificação da atmosfera de secagem do sistema-modelo com etanol, promoveu uma evaporação menos intensa de água e do componente do aroma. Já nos experimentos de secagem de abacaxi, aparentemente a evaporação do aroma foi mais intensa em atmosfera modificada do que em atmosfera normal.

ABSTRACT

In the drying of some foods such as fruits, along with water removal there is also the evaporation of other volatile substances present in lesser amounts. When these substances possess odoriferous characteristics, the quality of the final dried product can be lowered due to aroma loss. Therefore, it is interesting to consider in the drying studies the evaporation of these volatile components other than water. The modification of atmosphere has been used only in storage, especially for vegetables, but can be extended to drying since it can influence the loss of volatile components responsible for the sensorial characteristics of the final product. In the present work, a drying equipment was developed, in which the drying atmosphere can be modified by the addition of gases or liquids. The equipment is composed of a drying tunnel with polycarbonate walls and a data acquisition and control system, allowing continuous monitoring of the sample weight and control of the drying gas temperature. Samples submitted to drying were a model-system and pineapple (*Smooth Cayenne*). The model-system was developed from the basic chemical composition of pineapple and the addition of other compounds, containing one of the main aroma components (ethyl hexanoate). The drying atmosphere was modified by the addition of ethanol (0,5% v/v) to air using a double-fluid atomizer, which is located in the upper part of the drying tunnel. In the experiments, the variation with time of water content and aroma components concentration, were monitored. The latter was measured by gas chromatography. An analytical methodology for determination of the aroma components in both systems was developed from the studies of aroma extraction and gas chromatography. The aroma present in the model-system was extracted with hexane and the volatile aroma components from the pineapple were extracted with ethylic ether. The modification of the atmosphere with ethanol in drying of the model-system promoted a less intense evaporation of both water and aroma component. In the experiments of pineapple drying, apparently the evaporation of aroma was more intense in modified atmosphere than in normal atmosphere.

SUMÁRIO

RESUMO	xiii
ABSTRACT	xv
SUMÁRIO	xvii
LISTA DE FIGURAS	xxi
LISTA DE TABELAS	xxiii
NOMENCLATURA	xxvii
CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO	01
CAPÍTULO 2: REVISÃO DE LITERATURA	03
2.1 PROCESSO DE SECAGEM	03
2.2 SISTEMAS-MODELO	09
2.3 RETENÇÃO DE VOLÁTEIS NA SECAGEM	11
2.4 ANÁLISE CROMATOGRÁFICA	15
2.5 ANÁLISES DE COMPOSTOS DE AROMA	16
2.6 ABACAXI	19
2.6.1 Componentes do Aroma do Abacaxi	21
2.6.2 Secagem de Abacaxi	24
CAPÍTULO 3: DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE SECAGEM	
COM ATMOSFERA MODIFICADA E CONTROLADA	27
3.1 MONTAGEM DO SISTEMA DE SECAGEM	28
3.2 SISTEMA DE SECAGEM	30
3.2.1 Túnel de Secagem	30
3.2.1.1 Sistema para a Entrada de Gases	33
3.2.1.2 Entrada do Ar	33
3.2.2 Acessórios do Túnel de Secagem	33
3.2.2.1 Ventilador Compacto (<i>Cooler</i>)	34
3.2.2.2 Sistema de Aquecimento	34
3.2.2.3 Bico Atomizador para a Entrada de Líquido	35
3.2.2.4 Equalizadores do Fluxo de Gás	36
3.2.2.5 Termopares	38
3.2.3 Acessórios Externos	38

3.2.3.1 Bomba Peristáltica e Compressor de Ar	38
3.2.3.2 Termoanemômetro e Psicrômetro	39
3.2.3.3 Balança Eletrônica	39
3.2.4 Sistema de Aquisição e Controle de Dados	39
3.2.4.1 Sistema de Aquisição de Dados	40
3.2.4.2 Sistema Elétrico	40
3.2.4.2.1 Fotoacopladores Ópticos	42
3.2.4.2.2 Controlador Lógico Programável (CLP)	43
3.2.4.2.3 Relês de Estado Sólido	43
3.3 PORTA-AMOSTRA	43
3.4 PARÂMETROS DE PROCESSO	47
3.4.1 Velocidade do Gás de Secagem	47
3.4.2 Umidade Relativa do Gás de Secagem	47
3.4.3 Temperatura	48
3.4.4 Modificação da Atmosfera de Secagem	49
3.5 FAIXAS DE TRABALHO DO EQUIPAMENTO	50
3.5.1 Velocidade do Gás de Secagem	50
3.5.2 Temperatura do Gás	50
3.5.3 Modificação da Atmosfera	51
3.5.4 Quantidade de Amostra	51
CAPÍTULO 4: DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA-MODELO	
SUBSTITUTIVO DO ABACAXI	53
4.1 METODOLOGIA PARA EXTRAÇÃO DO COMPONENTE DE AROMA	58
4.2 DETERMINAÇÃO DOS VOLÁTEIS NO SISTEMA-MODELO POR	
CROMATOGRAFIA GASOSA	60
4.2.1 Testes Preliminares de Cromatografia Gasosa	60
4.3 FORMULAÇÃO FINAL DO SISTEMA-MODELO E PROCEDIMENTO	
PARA A EXTRAÇÃO DO HEXANOATO DE ETILA	61
CAPÍTULO 5: METODOLOGIA PARA EXTRAÇÃO E DETERMINAÇÃO	
DOS VOLÁTEIS DO ABACAXI	65
5.1 ISOLAMENTO DOS COMPOSTOS VOLÁTEIS DO ABACAXI	65
5.1.1 Sistema de Captura de Voláteis	67

5.1.2 Condicionamento das Armadilhas	68
5.1.3 Condições do Processo de Extração	69
5.1.3.1 Duração da Coleta dos Voláteis	70
5.1.3.2 Equilíbrio entre a Amostra e o <i>Headspace</i>	70
5.1.3.3 Tipo e Volume de Solvente	71
5.1.3.4 Direção da Eluição dos Voláteis Durante a Dessorção	72
5.2 DETERMINAÇÃO DOS COMPOSTOS VOLÁTEIS DO AROMA DO ABACAXI <i>IN NATURA</i> E SECO	72
5.2.1 Determinação do Tempo de Extração do Aroma do Abacaxi	73
5.2.2 Tipo de Solvente.....	75
5.2.3 Quantidade de Amostra Injetada no Cromatógrafo.....	78
5.2.4 Avaliação dos Voláteis do Abacaxi <i>in Natura</i> e Seco	79
5.2.5 Procedimento Final da Determinação dos Voláteis de Abacaxi <i>in Natura</i> e Seco	83
CAPÍTULO 6: SECAGEM DO SISTEMA-MODELO EM ATMOSFERAS NORMAL E MODIFICADA	85
6.1 EVAPORAÇÃO DA UMIDADE DURANTE A SECAGEM	86
6.2 EVAPORAÇÃO DO COMPONENTE DE AROMA DURANTE A SECAGEM	90
CAPÍTULO 7: SECAGEM DE ABACAXI EM ATMOSFERAS NORMAL E MODIFICADA	93
7.1 CONDIÇÕES DE PROCESSO DOS EXPERIMENTOS DE SECAGEM DE ABACAXI	93
7.2 ENSAIOS DE SECAGEM DE ABACAXI	95
7.3 RESULTADOS DE RETENÇÃO DO AROMA DE ABACAXI	98
7.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS	100
CONCLUSÕES	107
SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	109
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	111
ANEXO A1	117
ANEXO A2	131
ANEXO A3	147

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Esquema do sistema utilizado no processo de secagem	28
Figura 2.	Equipamento utilizado nos experimentos de secagem sob atmosfera normal e modificada (mesma numeração utilizada na Figura 1)	31
Figura 3.	Ventilador e sistema de aquecimento usados no processo de secagem	35
Figura 4.	Vista de cima do sistema elétrico utilizado para o controle das cargas no processo de secagem	41
Figura 5.	Esquema do porta-amostra para o processo de secagem	44
Figura 6.	Porta-amostra de seção interna quadrada	45
Figura 7.	Porta-amostra com seção interna circular, juntamente com vários moldes para esta seção e o cortador utilizado para obter as amostras de formato circular	46
Figura 8.	Sistema experimental utilizado para o desenvolvimento do sistema-modelo	55
Figura 9.	Curva-padrão de hexanoato de etila em hexano	61
Figura 10.	Esquema do sistema de coleta dos voláteis de abacaxi por amostragem dinâmica do <i>headspace</i>	66
Figura 11.	Sistema de extração e coleta dos voláteis de abacaxi montado no Laboratório de Processos Sólido-Fluido	66
Figura 12.	Armadilhas compostas por <i>Porapak Q</i> usadas na extração de compostos voláteis	68
Figura 13.	Área dos picos dos principais voláteis extraídos do <i>headspace</i> de amostras de abacaxi <i>in natura</i> , utilizando-se diferentes tempos de extração	75
Figura 14.	Área dos picos dos principais voláteis extraídos do abacaxi <i>in natura</i> eluídos por dois tipos de solvente para um volume de injeção no cromatógrafo de 3,0 μ L	77
Figura 15.	Área dos picos dos compostos voláteis eluídos por éter etílico obtidas a partir de diferentes volumes de injeção no cromatógrafo gasoso	79
Figura 16.	Área dos picos dos compostos voláteis do abacaxi <i>in natura</i> e seco eluídos por éter etílico	83
Figura 17.	Cinética de secagem (50°C e 0,84 m/s) de amostras do sistema-modelo	

	secas em atmosferas normal e modificada com 0,5% (v/v) de etanol	87
Figura 18.	Curva da taxa de secagem (50°C e 0,84 m/s) de amostras do sistema-modelo secas em atmosferas normal e modificada com 0,5% (v/v) de etanol, em função da umidade	88
Figura 19.	Curva da taxa de secagem (50°C e 0,84 m/s) de amostras do sistema-modelo secas em atmosferas normal e modificada com 0,5% (v/v) de etanol, em função do tempo	89
Figura 20.	Retenção de aroma (hexanoato de etila) nas amostras de sistema-modelo durante a secagem (50°C e 0,84 m/s), em atmosferas normal e modificada com 0,5% (v/v) de etanol	91
Figura 21.	Cinética de secagem de amostras de abacaxi <i>Smooth Cayenne</i> secas em atmosferas normal e modificada com 0,5% (v/v) de etanol	96
Figura 22.	Taxa de secagem de amostras de abacaxi <i>Smooth Cayenne</i> secas em atmosferas normal e modificada com 0,5% (v/v) de etanol, em função da umidade	98
Figura 23.	Taxa de secagem de amostras de abacaxi <i>Smooth Cayenne</i> secas em atmosferas normal e modificada com 0,5% (v/v) de etanol, em função do tempo	99
Figura 24.	Resultados da retenção do aroma de amostras de abacaxi <i>Smooth Cayenne</i> secas em atmosferas normal e modificada com 0,5% (v/v) de etanol	100
Figura 25.	Gráfico de Pareto para a taxa de secagem constante (N_c) de amostras de abacaxi <i>Smooth Cayenne</i> secas em atmosferas normal e modificada com 0,5% (v/v) de etanol	102
Figura 26.	Gráfico de Pareto para a umidade adimensional (X/X_o) de amostras de abacaxi <i>Smooth Cayenne</i> secas em atmosferas normal e modificada com 0,5% (v/v) de etanol	103
Figura 27.	Gráfico de Pareto para a área total relativa dos principais picos dos voláteis do aroma de amostras de abacaxi <i>Smooth Cayenne</i> secas em atmosferas normal e modificada com 0,5% (v/v) de etanol	105

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Produção mundial e dos principais países produtores de abacaxi	20
Tabela 2.	Produção nacional e dos principais estados brasileiros produtores de abacaxi	20
Tabela 3.	Composição química básica da polpa de abacaxi maduro	21
Tabela 4.	Distribuição dos ésteres voláteis em diversas porções de frutos de abacaxi	22
Tabela 5.	Limiar de odor, concentração e unidades de odor dos principais constituintes da polpa de abacaxi (variedade <i>Smooth Cayenne</i>)	22
Tabela 6.	Faixas de operação do equipamento de secagem em atmosferas normal e modificada	51
Tabela 7.	Composição química básica da polpa de abacaxi maduro	53
Tabela 8.	Composições da matriz sólida do sistema-modelo (% p/p) contendo ágar como agente geleificante	54
Tabela 9.	Composição média do sistema-modelo utilizado durante a secagem em atmosferas normal e modificada	62
Tabela 10.	Resultados do cromatograma dos compostos voláteis extraídos do abacaxi <i>in natura</i> , extraídos por 3,0 horas	74
Tabela 11.	Resultados do cromatograma dos compostos voláteis extraídos do abacaxi <i>in natura</i> , extraídos por 4,5 horas	74
Tabela 12.	Resultados do cromatograma dos compostos voláteis extraídos do abacaxi <i>in natura</i> , obtido a partir da eluição por hexano, com injeção de 3,0 µL no cromatógrafo	76
Tabela 13.	Resultados do cromatograma dos compostos voláteis extraídos do abacaxi <i>in natura</i> , obtido a partir da eluição por éter etílico, com injeção de 3,0 µL no cromatógrafo	76
Tabela 14.	Resultados do cromatograma dos compostos voláteis extraídos do abacaxi <i>in natura</i> , obtido a partir da eluição por éter etílico, com injeção de 1,0 µL no cromatógrafo	78
Tabela 15.	Resultados do cromatograma dos compostos voláteis extraídos do abacaxi <i>in natura</i> com 85% (base úmida) de umidade, obtido a	

	partir da eluição por éter etílico	80
Tabela 16.	Resultados do cromatograma dos compostos voláteis extraídos do abacaxi seco até 74% (base úmida) de umidade (4,0 h de secagem em atmosfera normal), obtido a partir da eluição por éter etílico	81
Tabela 17.	Resultados do cromatograma dos compostos voláteis extraídos do abacaxi seco até 46% (base úmida) de umidade (11,0 h de secagem em atmosfera normal), obtido a partir da eluição por éter etílico	82
Tabela 18.	Equações utilizadas para a cinética de secagem do sistema-modelo, com os seus respectivos coeficientes de ajuste	88
Tabela 19.	Umidade adimensional do sistema-modelo seco em atmosferas normal e modificada com 0,5% (v/v) de etanol após cada experimento de secagem (50°C e 0,84 m/s)	90
Tabela 20.	Análise estatística para a umidade adimensional do sistema-modelo seco em atmosferas normal e modificada com 0,5% (v/v) de etanol após cada experimento de secagem (50°C e 0,84 m/s)	90
Tabela 21.	Concentração adimensional de aroma (base seca) do sistema-modelo após cada experimento de secagem (50°C e 0,84 m/s) em atmosferas normal e modificada com 0,5% (v/v) de etanol	92
Tabela 22.	Análise estatística para a concentração adimensional de hexanoato de etila (base seca) do sistema-modelo seco em atmosferas normal e modificada com 0,5% (v/v) de etanol	92
Tabela 23.	Matriz de planejamento experimental dos experimentos de secagem de abacaxi <i>Smooth Cayenne</i> em atmosferas normal e modificada	94
Tabela 24.	Vazões de etanol líquido para a modificação da atmosfera de secagem (0,5% (v/v) de etanol) nas faixas testadas de temperatura e velocidade do gás de secagem	94
Tabela 25.	Equações utilizadas para o ajuste dos dados experimentais de cinética de secagem de abacaxi, com os seus respectivos coeficientes de ajuste	97
Tabela 26.	Resultados da matriz de planejamento experimental dos experimentos de secagem de abacaxi <i>Smooth Cayenne</i> em atmosferas normal e modificada com 0,5% (v/v) de etanol	101
Tabela 27.	Efeitos estimados dos parâmetros sobre a taxa de secagem constante, a	

umidade adimensional e a área total relativa dos principais picos dos voláteis do aroma do abacaxi <i>Smooth Cayenne</i> seco em atmosferas normal e modificada com 0,5% (v/v) de etanol	101
--	-----

NOMENCLATURA

Letras Latinas

C	Concentração de aroma no sistema-modelo (base seca)	mg aroma/ kg sólido seco
- dX/dt	Taxa de secagem	g umidade/ g sólido seco/ min
Nc	Taxa de secagem no período de taxa constante	g umidade/ g sólido seco/ min
Uo	Unidade de odor	
V	Volume	mL
X	Umidade (base seca)	g umidade/ g sólido seco

Letras gregas

ρ	Densidade	kg/m ³
--------	-----------	-------------------

Subscritos

o	Início
---	--------

Siglas

ATPAF	Área total dos principais picos dos voláteis de abacaxi <i>in natura</i> (base seca)	$\mu\text{V}^*/\text{s}$ / g sólido seco
ATPAS	Área total dos principais picos dos voláteis de abacaxi seco (base seca)	$\mu\text{V}^*/\text{s}$ / g sólido seco
CLP	Controlador Lógico Programável	
RES	Relê de Estado Sólido	

Abreviaturas

Conc.	Concentração
-------	--------------

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

O processo usual de secagem de determinados alimentos como frutas pode promover uma perda de substâncias voláteis presentes em quantidades menores, juntamente com a água. Quando tais substâncias possuem características odoríferas, o produto final seco pode perder qualidade com relação ao seu aroma.

O aroma dos alimentos é dado pela presença de compostos voláteis que impressionam os receptores olfativos. Sua composição em um alimento é muito complexa, pois consiste em um grande número de substâncias orgânicas. Além disso, estão presentes em concentrações muito pequenas, da ordem de ppm e até ppb e variam grandemente quanto à sua natureza química e ao valor de *threshold* (limiar mínimo de percepção, ou seja, a menor concentração de um estímulo necessária para um indivíduo detectá-lo). Dessa forma, torna-se importante a preservação dessas características dos alimentos após sua industrialização.

Dentre as frutas tropicais, o abacaxi é uma das mais consumidas, tanto *in natura* como industrializado, sendo o Brasil um dos grandes produtores mundiais da fruta. O aroma característico do abacaxi é de grande aceitação pelo consumidor, mas tende a ser perdido significativamente durante o processo de secagem convencional.

Produtos alimentícios são sistemas multicomponentes complexos, constituídos principalmente por macromoléculas. Muitas vezes, a fim de simplificar a matriz de estudo, utilizam-se sistemas-modelo. No caso do abacaxi, a matriz sólida possui um arranjo de grande complexidade e a fase líquida presente no interior da fruta contém uma grande variedade de compostos, o que dificulta muito a compreensão dos fenômenos de retenção/remoção de voláteis durante a secagem. Por isso, pode-se utilizar um sistema-modelo de estrutura mais simplificada, contendo apenas um único componente de aroma, para que se consiga entender melhor os referidos fenômenos.

A modificação de atmosfera, com controle ou não, é muito utilizada no armazenamento de vegetais, aumentando a vida útil dos produtos armazenados e

conservando mais o aroma, a cor e o frescor dos alimentos. Assim, pode-se inferir que o uso da atmosfera modificada em processos de secagem pode diminuir ou evitar a perda de voláteis responsáveis pelas características sensoriais do produto, pela alteração das volatilidades relativas dos componentes voláteis.

Assim sendo, o presente trabalho teve como objetivo geral desenvolver um sistema que permite o estudo da secagem com modificação e controle da atmosfera, tendo os objetivos específicos descritos a seguir.

- Desenvolvimento de um sistema-modelo, constituído de uma matriz sólida, a partir da composição química do abacaxi, na qual foi adicionado hexanoato de etila, que é um componente do aroma dessa fruta.
- Desenvolvimento da metodologia de extração e determinação do composto volátil de aroma presente no sistema-modelo e dos compostos do aroma do abacaxi *in natura* e seco.
- Estudo inicial da secagem do sistema-modelo e de abacaxi em atmosferas normal e modificada por adição de etanol, em diferentes temperaturas e velocidades do gás secante.

O trabalho desenvolvido para alcançar os objetivos descritos acima é apresentado a seguir na seguinte seqüência: revisão de literatura no Capítulo 2, o desenvolvimento de um sistema de secagem com atmosfera modificada e controlada é apresentado no Capítulo 3, desenvolvimento de um sistema-modelo substitutivo do abacaxi no Capítulo 4, metodologia para extração e determinação dos voláteis do abacaxi no Capítulo 5, secagem do sistema-modelo em atmosferas normal e modificada no Capítulo 6, secagem do abacaxi em atmosferas normal e modificada no Capítulo 7 e, no final, são apresentadas as conclusões e as sugestões para trabalhos futuros.

CAPÍTULO 2

REVISÃO DE LITERATURA

Levando-se em consideração que este trabalho trata do estudo da secagem em atmosfera modificada e controlada, tendo como estudo de caso o abacaxi, a presente revisão apresenta os seguintes itens:

- Processo de Secagem
- Sistemas-Modelo
- Retenção de Voláteis na Secagem
- Análises de Compostos de Aroma
- Abacaxi

2.1 PROCESSO DE SECAGEM

A secagem convectiva de materiais sólidos contendo misturas líquidas é freqüentemente encontrada nos processos industriais, como por exemplo na secagem de produtos alimentícios e farmacêuticos, filmes fotográficos etc (**Luna e Martínez, 1997**).

Na secagem por ar quente, o processo é dividido em três fases. Na primeira fase, quando ocorre o aumento da taxa de secagem, o material é aquecido até atingir a temperatura desejada. No próximo período (período da taxa constante), a superfície do material mantém-se saturada de umidade, pois a umidade evaporada na superfície é compensada pela que é transportada no interior do material e o processo transcorre como se fosse a evaporação de um filme de líquido. Na terceira fase, tem-se a diminuição da taxa de secagem e a temperatura do material aumenta. Nesta última fase, a parte interna do material tem uma considerável quantidade de umidade e a parte externa apresenta-se seca. Esta parte externa normalmente tem uma alta resistência à transferência de massa, aumentando consideravelmente o tempo de secagem (**Keey, 1972**).

Nos sólidos com estruturas fibrosas, como nos alimentos, o movimento do líquido ocorre principalmente por difusão através do sólido, pois esses materiais retêm a umidade como parte integral de sua estrutura, ou então a retêm no interior de fibras ou de poros delgados internos, sendo lento o movimento da umidade. Como as taxas de difusão são menores que o escoamento por gravidade ou por capilaridade, os sólidos nos quais a difusão controla o movimento do líquido, tendem a ter períodos de taxa constante mais curtos, ou mesmo a secarem sem que haja um período de taxa constante perceptível. Pelas mesmas razões, o primeiro período de taxa decrescente é muito reduzido e a maior parte do processo de secagem é controlada pela difusão do líquido através do sólido. A maior parte da secagem ocorre no segundo período de taxa decrescente (**Foust *et al.*, 1980**).

Medidas da temperatura da amostra durante a secagem são interessantes para identificar se o processo é controlado pela transferência de calor ou pela transferência de massa. Então, se a temperatura da amostra for igual à temperatura de bulbo úmido do meio circundante, o processo se caracteriza por estar controlado pela transferência de calor. Se a temperatura da amostra aumentar até atingir a temperatura de bulbo seco do meio secante, sugere-se que o processo seja controlado pela transferência de massa (**Waananen *et al.*, 1993**).

Em sólidos porosos, a resistência interna à transferência de massa pode ocorrer no interior da fase sólida ou dentro dos espaços vazios (**Karel, 1975**). Muitas vezes, mais do que um mecanismo contribui para o fluxo total de massa e a contribuição de diferentes mecanismos pode variar à medida que o processo de secagem evolui (**Bruin e Luyben, 1980**).

Quando materiais capilares porosos são secos, o líquido do poro é substituído por gás inerte (ou vapor no caso de secagem a vácuo). Se cada fase é uma mistura de diversos componentes, tanto o fenômeno da difusão quanto o fluxo no poro podem afetar a cinética desta etapa do processo, sendo que a transferência de massa pode ocorrer no gás ou no líquido do poro. Em materiais porosos com poros contendo uma fase líquida e uma fase gasosa (podendo conter uma mistura de diversos componentes), a transferência de massa por difusão pode ocorrer simultaneamente em ambas as fases. Por exemplo, durante a secagem de um corpo capilar poroso, os poros pequenos podem ainda estar preenchidos com uma mistura líquida, enquanto que os poros maiores já podem conter uma mistura gasosa. A transferência de massa de um componente volátil é possível por difusão paralela através dos poros completamente preenchidos com um gás ou com um líquido, ou por

difusão serial através das regiões preenchidas com líquido e com gás (**Blumberg e Schlünder, 1993**).

Waananen et al. (1993) citam alguns mecanismos de transferência interna de massa, incluindo entre eles difusão de vapor e de líquido, difusão superficial e fluxo capilar (fase líquida), fenômeno de Evaporação/Condensação e Difusão de Knudsen (fase vapor).

Hougen et al. (1940), citados por **Waananen et al. (1993)** definiram difusão como a distribuição de moléculas dentro de uma única fase, devido à movimentação molecular; já a capilaridade refere-se ao fluxo de líquido através dos interstícios e sobre a superfície de um sólido, devido à atração molecular entre o sólido e o líquido.

Quando a transferência de massa durante a secagem é descrita pela Lei de Fick, a principal hipótese na formulação da transferência de massa é que a força motriz para a migração de água no material é devida somente ao seu gradiente de concentração. No entanto, o gradiente de temperatura pode ser responsável por contribuir significativamente em alguns materiais alimentícios e em alguns processos, como por exemplo, no aquecimento por microondas (**Zhou et al., 1994**).

Um método que pode auxiliar na identificação dos mecanismos de transferência de massa durante a secagem é a microscopia eletrônica de varredura, já que por meio desta pode-se ter um conhecimento qualitativo da estrutura do sólido. **Waananen e Okos (1989)**, citados por **Waananen et al. (1993)**, observaram que a microestrutura de macarrão consistia de grânulos de amido densamente “empacotados” em uma matriz protéica, o que os levou a pensar que a falta de espaços vazios no interior do material sugere um mecanismo de transporte por difusão de umidade através do sólido.

Quando a fase aquosa do material for composta por outros componentes voláteis além da água, pode ocorrer a transferência de massa destes componentes juntamente com a água durante a secagem. Se os referidos compostos tiverem características odoríferas, pode-se ter uma perda de aroma no produto final seco, além de mudanças na cor e na textura e diminuição do valor nutricional (**Nijhuis et al., 1996**).

Inovações ou melhorias nos procedimentos de secagem devem ser desenvolvidos a fim de melhorar a qualidade do produto final, sendo de muito interesse a retenção do *flavor* na secagem de produtos alimentícios (**King, 1990; Meerdink, 1993**; ambos citados por **Pakowski, 1994**). No caso dos alimentos, a qualidade do produto final seco deve estar de acordo com o nível requerido pelo consumidor, a qual dependerá, dentre outros fatores, do

conteúdo residual de componentes que dão o aroma e o *flavor*. Então, a remoção preferencial de água e a retenção dos outros componentes tais como o aroma, tornam-se objetivos muito importantes durante a secagem (**Luna e Martínez, 1997**).

Se o sólido a ser seco contém um único solvente a evaporar, o processo será controlado pela fase gasosa se este sólido estiver saturado. Em tais circunstâncias, exceto em um curto período inicial quando ocorre o equilíbrio térmico entre as fases, o processo é isotérmico, sendo caracterizado por um período de taxa constante. Porém, se o sólido até mesmo saturado, contém uma mistura de solventes que podem ser evaporados, geralmente o processo será não isotérmico. Além disso, podem ocorrer interações entre os componentes que difundem (evaporam), as quais podem favorecer que uma determinada substância possa até difundir na direção oposta de seu gradiente de concentração. Essas interações podem ser negligenciadas se a concentração de umidade do agente secante for baixa, como acontece na secagem convencional (**Martinez e Setterwall, 1991**).

Na evaporação de pelo menos dois componentes líquidos miscíveis, a composição desses na fase líquida pode variar durante a secagem, sendo esta variação dependente da natureza da mistura líquida, natureza do sólido que está umedecido por ela e pelas condições de processo. O gás inerte de secagem pode trazer uma resistência à difusão na fase gasosa que poderá controlar a seletividade na secagem (evaporação preferencial de um componente em relação a outro), além do equilíbrio líquido-vapor. Isto pode resultar na evaporação do componente menos volátil, pois este pode difundir mais rápido através da fase gasosa. A resistência à difusão na fase líquida deve ser levada em consideração quando se tem a evaporação de uma superfície líquida livre ou de um sólido parcialmente saturado (**Pakowski, 1994**).

Quando um gás tem um contato íntimo com uma mistura líquida (por exemplo, borbulhando-se ar através de um líquido contendo dois componentes, conforme foi realizado por **Lewis e Squires (1937)**) e sai saturado com ambos os componentes, tem-se evaporação por equilíbrio. Se o tempo de contato entre a amostra e o ar é insuficiente para o equilíbrio termodinâmico ser atingido e a taxa de evaporação e a resistência à transferência de massa na fase líquida são baixas, a seletividade na secagem dependerá da transferência de massa na fase gasosa e da volatilidade relativa dos componentes (exceto no ponto azeotrópico, quando a secagem será não-seletiva) (**Jowitt, 1987**).

Turner e Schlünder (1985) estimaram a espessura da camada limite (0,5 mm), para um capilar preenchido com uma mistura líquida binária (álcool isopropílico e água),

cuja superfície estava exposta a uma corrente de ar de secagem. Os autores concluíram que se as dimensões da amostra forem muito grandes, quando comparadas com a espessura da camada limite, não haverá remoção preferencial de um componente com relação ao outro (exceto nos instantes iniciais da secagem); no entanto, se a espessura da camada limite for maior do que as dimensões da amostra, a seletividade na secagem será influenciada principalmente pela resistência de massa na fase gasosa e pelo equilíbrio termodinâmico.

Thurner e Schlünder (1985) verificaram as conclusões teóricas descritas acima, através da realização de experimentos de secagem com peças cilíndricas de tijolo maciço, umedecidas com uma mistura binária de álcool isopropílico e água; as respectivas amostras foram secas por uma corrente de ar na direção axial do cilindro. Apresentaram uma secagem seletiva apenas nos primeiros minutos, a qual foi percebida quando determinaram a concentração de álcool isopropílico e água no ar de saída com analisador de gás infravermelho. A espessura da camada limite foi muito menor do que o raio da amostra (20 mm), assim a transferência de massa na fase líquida foi a etapa controladora do processo, justificando a sua não-seletividade (exceto nos instantes iniciais). Porém, quando nas mesmas condições secaram um cilindro oco de bronze sinterizado (espessura da parede com 0,5 mm), em que a espessura da camada limite era da mesma ordem de grandeza da espessura da amostra, houve seletividade na secagem. Neste caso, quando o teor do álcool na mistura estava acima da concentração azeotrópica para processos de evaporação por difusão (azeótropo dinâmico, segundo a denominação de **Pakowski (1994)**), a água que é o componente que difunde mais rápido para a fase gasosa, foi removida preferencialmente; então, a fração molar do álcool isopropílico aumentou conforme a mistura líquida ia sendo evaporada. No entanto, quando o teor do álcool estava abaixo do referido ponto azeotrópico, o contrário aconteceu, pois a maior volatilidade relativa do álcool recompensou a sua menor difusão e a composição da mistura ficou mais rica na água, à medida que a secagem avançava.

Resultados semelhantes aos de **Thurner e Schlünder (1985)** foram obtidos por **Schwarzbach et al. (1987)**, no estudo experimental do comportamento de uma mistura líquida binária (2-propanol e água) que evapora da superfície de uma placa porosa. Foi estabelecido um perfil de concentração em estado estacionário de comprimento z^* . Quando a espessura da amostra, L , $\gg z^*$ e o perfil é estabelecido em 5-10 minutos a evaporação é não-seletiva (embora no início possa ocorrer alguma seletividade antes do perfil ser

estabelecido). Entretanto, se $L \ll z^*$ a seletividade será influenciada pela volatilidade relativa e pelas condições de transferência de massa na fase gasosa.

Se um dos componentes em uma mistura ternária não é volátil, qualquer um dos outros dois compostos podem ser eliminados preferencialmente, a partir de uma determinada concentração do componente não volátil, dependendo das condições de secagem (**Riede e Schlünder, 1990**). Pode-se produzir uma situação na qual um dado componente será removido inicialmente, enquanto o outro será removido preferencialmente no final do processo, variando-se a composição do gás de entrada (**Pakowski, 1994**). Além disso, segundo este autor, pode-se obter um material com uma fase aquosa final com qualquer composição, a partir de uma combinação adequada entre a composição do gás de entrada e as condições de evaporação.

Pakowski (1992) apresenta diversos exemplos de trabalhos relacionados à secagem de materiais com a fase aquosa contendo mais de um componente, realizados pela indústria (principalmente farmacêutica e de alimentos) e também pela academia. Nestes estudos, foram utilizados vários métodos de secagem, com processos convectivos, sob vácuo ou *spray*, no processamento de materiais sólidos, contendo água, acetona, acetato de etila, metanol, propanol, etc.

Na literatura há uma carência de estudos que usem a modificação da atmosfera de secagem, podendo-se destacar os realizados por **Schultz e Schlünder (1990)** e por **Tietz e Schlünder (1993)**. Os primeiros autores adicionaram álcool no ar de secagem para controlar a formação de uma crosta de cloreto de sódio sobre a superfície de amostras cilíndricas, constituídas de um leito fixo composto por esferas de vidro de 52 μm de diâmetro, umedecidas por uma solução salina aquosa. Já **Tietz e Schlünder (1993)** adicionaram álcool (0,2 a 1,6 % molar) ao ar na secagem de papel, a fim de reduzir a tensão superficial do líquido no papel, produzindo um produto seco mais macio.

No equipamento utilizado por **Schultz e Schlünder (1990)**, o aditivo (2-propanol) foi adicionado no ar de secagem através de atomização com ar comprimido. Na corrente de saída, a concentração de álcool foi medida continuamente por meio de um analisador de gás infravermelho. Para garantir a segurança da operação a concentração do 2-propanol foi mantida abaixo do seu limite de explosão, além de terem sido usados dois filtros de chama na entrada e saída do aquecedor. A concentração de álcool no ar foi de 0,7% molar. A velocidade do ar foi de 0,2 a 1,0 m/s, a uma temperatura entre 50 e 130°C.

2.2 SISTEMAS-MODELO

Produtos alimentícios são sistemas multicomponentes constituídos por macromoléculas, principalmente proteínas, carboidratos e lipídios. Por isso, é interessante conhecer as reações químicas e as mudanças estruturais que ocorrem durante o processamento e o armazenamento dos alimentos, entretanto, o estudo dessas variações químicas e físicas é um pouco difícil devido à complexidade da estrutura dos referidos materiais. Então, utilizam-se sistemas-modelo a fim de simplificar a matriz de estudo, eliminando-se efeitos que não se deseja modelar (**Göğüş e Lamb, 1998**).

Sistemas-modelo sólidos ou líquidos, normalmente possuem compostos orgânicos em sua composição, os quais influenciam de forma acentuada as características estruturais do material. Compostos freqüentemente utilizados são proteínas (gelatina) e polissacarídeos (celulose, pectinas, amido e agar). A seleção do sistema-modelo dependerá muito do tipo de processo a ser aplicado e da estrutura do alimento que se deseja modelar (**Göğüş e Lamb, 1998**).

Quando se deseja estudar a secagem de um alimento sólido, pode-se incorporar uma matriz sólida ao modelo, o qual pode ser preparado com composição, forma e estrutura controladas, sendo que informações básicas podem ser obtidas pela análise dos parâmetros químicos, físicos e/ou mudanças físico-químicas.

Biquet e Labuza (1988) desenvolveram um sistema-modelo com estrutura de gel, constituído por ágar e celulose microcristalina, para a realização de estudos de atividade de água em alimentos. Inicialmente, o ágar foi misturado com água destilada e deixado em repouso por 16 horas a 6°C, sendo então a mistura aquecida até a ebulição em um banho-maria e mantida no banho por um período de 20 a 35 minutos. Após o resfriamento até 43°C, adicionou-se a celulose microcristalina (tamanho médio de partícula igual a 20 µm) e a mistura foi agitada sob agitação vigorosa por 20 segundos. A seguir, a mistura foi congelada a fim de ser liofilizada. A composição final do sistema-modelo previamente à liofilização foi de 1,5% de ágar e 5% de celulose microcristalina. Os referidos autores concluíram que o sólido constituído por ágar-celulose microcristalina parece ter um bom potencial para o uso como sistema-modelo alimentício, porque é constituída por uma matriz sólida porosa com textura firme, possuindo um suporte sólido inerte. Além disso, apresenta uma isoterma de sorção típica de produtos alimentícios (tipo II ou de BET).

Schrader e Litchfield (1992) usaram um sistema-modelo similar ao de **Biquet e Labuza (1988)** (porém, não submetido á liofilização), para determinar o perfil de umidade do referido gel (forma cilíndrica) durante a secagem, usando imagem de ressonância magnética (MRI). Ágar e água destilada foram misturados e colocados em um banho com água em ebulição por aproximadamente 30 minutos. Após o aquecimento, adicionou-se a celulose microcristalina e homogenizou-se a suspensão sob agitação lenta, por aproximadamente 3 minutos. O gel obtido tinha aproximadamente 1,2% de ágar, 22,8% de celulose microcristalina e 76% de água. Os mesmos autores relataram que é possível preparar géis com até 40 g de celulose microcristalina (MCC) em 100 g de água destilada, sem afetar muito as características geleificantes da amostra; acima de 40 g de MCC, as pastas formadas possuem características geleificantes pobres. Os perfis de umidade medidos foram comparados com os preditos pelo modelo de *Fick*, considerando difusão radial em um cilindro. Através das medidas por MRI, observaram que o modelo não descreveu de maneira precisa o perfil interno de umidade, para a secagem a temperatura ambiente (18°C).

Marousis et al. (1989) secaram amostras elaboradas a partir da hidratação e gelatinização de grânulos de amido com alto teor de amilose e amilopectina, com adição de açúcares (teores de glicose, sacarose e dextrina entre 5 e 25% p/p), a fim de verificar a influência destes últimos na difusividade efetiva de umidade em materiais contendo amido. Após a hidratação das amostras, elas foram gelatinizadas com aquecimento a 100°C (alto teor de amilopectina) ou a 120°C (alto teor de amilose) por um tempo de 15 minutos. O teor de umidade inicial dos géis ricos em amilopectina foi de 1,0 kg água/ kg sólido seco e dos géis ricos em amilose foi de 2,0 kg água/ kg sólido seco. Foi verificado que quanto maior a concentração de açúcar e de seu tamanho molecular, menor é a difusividade efetiva de umidade, sendo que este efeito foi mais pronunciado nos teores mais altos de umidade.

Göğüş e Lamb (1998) prepararam sistemas-modelo sólidos, compostos por ágar, amido e celulose microcristalina, com diferentes composições e verificaram as modificações ocorridas nos referidos sistemas ao longo do processo de secagem. A mistura foi gelatinizada em um banho de água em ebulição por uma hora, sendo rapidamente adicionada em um recipiente-molde para a amostra, onde geleificou a temperatura ambiente por 15 horas, a fim de se obter um sólido firme. Observaram que o amido favoreceu a ocorrência de rachaduras nas amostras e um baixo encolhimento; já o ágar proporcionou uma alta taxa de encolhimento e uma reduzida presença de rachaduras.

2.3 RETENÇÃO DE VOLÁTEIS NA SECAGEM

Segundo **Luning *et al.* (1995)**, citando **Thijssen e Rulkens (1968)** e outros autores, há diversas teorias que tentam explicar a retenção de compostos voláteis durante o processo de secagem, tais como a teoria da difusão seletiva e a formação de microrregiões onde os voláteis são mantidos. Os principais fatores que foram considerados como influentes na retenção foram: a temperatura da secagem, concentração de sólidos, natureza e concentração de compostos voláteis. Geralmente, altas concentrações de sólidos aumentam a retenção dos voláteis, enquanto que altas concentrações iniciais de compostos voláteis afetam a retenção de forma inversa.

Luning *et al.* (1995) relataram que a secagem pode afetar os compostos voláteis presentes em uma amostra através da evaporação e retenção parcial destas substâncias, da inativação de enzimas formadoras de *flavour* e também pela formação ou aumento de compostos voláteis por reações de Maillard e degradação de Strecker ou por auto-oxidação de ácidos graxos insaturados.

Nos processos de evaporação, todos os componentes do aroma são perdidos quase completamente. No entanto, teoricamente é possível atingir a retenção completa de componentes de aroma levando-se em consideração o conceito de difusão seletiva, cujos coeficientes de difusão em solução aquosa são muito influenciados pela concentração de água. Experimentos apresentados por **Thijssen e Rulkens (1968)**, citados por **Coumans *et al.* (1994)** e por **Menting *et al.* (1970)**, com soluções de maltodextrina e extrato de café, demonstraram que os coeficientes de difusão de água e de acetona nesses sistemas diminuiriam muito conforme a concentração de água era reduzida, sendo que a redução do coeficiente de difusão da acetona foi muito maior do que a da água. Na secagem por *spray* e por congelamento podem-se obter condições para se criar uma alta retenção de aromas, pela rápida diminuição da concentração de água na superfície do material, formando uma casca na superfície no caso da secagem por *spray*. Então, o transporte difusivo interno de água e do componente de aroma (por exemplo) controla o processo de secagem. Na secagem por *spray*, ocorrem perdas de aroma (perdas por difusão) principalmente quando ainda não houve a formação de uma crosta na superfície das gotas.

Em produtos com teores de água na superfície abaixo de 15% (p/p), a interface torna-se praticamente impermeável a aromas voláteis. Então, se a concentração de água na

superfície é diminuída muito rapidamente abaixo desse valor, pode-se conseguir até 100% de retenção de aromas. A partir de todas as investigações experimentais e teóricas já realizadas, parece que o conceito de difusão seletiva fornece uma boa ferramenta para o entendimento qualitativo (e até quantitativo) dos efeitos das propriedades dos produtos e das variáveis de processo sobre a retenção de aroma durante a secagem (**Coumans *et al.*, 1994**).

Os estudos sobre a retenção de aroma durante a secagem têm sido desenvolvidos particularmente para os processos de secagem por *spray* e por congelamento. Nesses estudos, utilizaram-se sistemas-modelo, constituídos de soluções aquosas de carboidratos contendo uma pequena quantidade de um componente modelo de aroma. Geralmente, os componentes de aroma são perdidos durante o processo de secagem devido às suas altas volatilidades relativas. A volatilidade relativa de um componente com relação à da água é função dos coeficientes de atividade da água e do componente e também das suas pressões de vapor quando puros. Como os componentes de aroma estão presentes em quantidades muito pequenas, seus respectivos coeficientes de atividade são tomados à diluição infinita, dependendo apenas da temperatura e da concentração de água (**Coumans *et al.*, 1994**).

Rulkens e Thijssen (1972) relataram que a retenção de voláteis foi determinada por seus coeficientes de difusão no interior da gota durante a secagem por *spray*. Segundo **Reineccius *et al.* (1982)**, citados por **Sayed *et al.* (1996)**, os fatores que afetam a perda de *flavor* durante a secagem por *spray*, até que ocorra formação de um filme na superfície da amostra, podem ser relacionados com:

- a) o diâmetro molecular: quanto maior a molécula, mais lentamente ela difundirá até a interface;
- b) pressão de vapor: os compostos que tiverem uma alta pressão de vapor (maior volatilidade) em solução deverão ser eliminados mais rapidamente;
- c) tempo para a formação do filme semi-permeável.

Na secagem de gotas por *spray*, **Sayed *et al.* (1996)** e **Hassan *et al.* (1996 b)** observaram que quando etanol foi encapsulado por sistemas constituídos basicamente de amido de trigo e gelatina, a sua retenção foi mais alta em concentrações iniciais de sólidos maiores e em temperaturas mais altas. Isto ocorreu provavelmente devido à formação de uma crosta espessa na superfície da gota e também porque a solução mais concentrada possuía uma viscosidade mais alta, diminuindo a difusão dos voláteis através da gota. Em

temperaturas mais altas, uma crosta na superfície externa da gota deve ter sido formada mais rapidamente do que em temperaturas menores. Já na secagem de gotas compostas por amido de arroz (**Sayed *et al.*, 1996**), frutose (**Hassan *et al.*, 1996 a**) ou goma arábica (**Hassan *et al.*, 1996 b**), o etanol encapsulado teve uma retenção muito baixa, independente da variação dos fatores de processo.

A secagem de amostras em forma de blocos (ou fatias grossas) adequa-se a um estudo fundamental dos fatores que influenciam a difusão seletiva (**Menting, 1969** e outros autores citados por **Coumans *et al.*, 1994**), pois as condições de processo podem ser bem controladas (por exemplo, secagem isotérmica e temperatura do ar uniforme) e a ocorrência de outras perdas pode ser minimizada ou até mesmo evitada.

Segundo **Coumans *et al.* (1994)**, tanto a teoria quanto os experimentos mostram que durante a secagem isotérmica de fatias com consistência de gel (geleificadas), a retenção de aroma tende a aumentar de acordo com os seguintes fatores: aumento da concentração inicial de sólidos dissolvidos, aumento da espessura inicial da fatia, diminuição da umidade relativa do ar de secagem, aumento do coeficiente de transferência de massa na fase gasosa e aumento da temperatura da amostra.

Menting *et al.* (1970) utilizaram um sistema-modelo, na forma de uma fatia de 4 mm de espessura, composto basicamente por uma solução aquosa de maltodextrina, geleificada com ágar, e acetona. Esta última foi perdida quase que exclusivamente durante o período da taxa constante, pois o final desse período praticamente coincidiu com o fim da perda da acetona, sendo que quanto maior a umidade relativa do ar de secagem e menor o teor inicial de sólidos, menor foi a sua retenção.

Furuta *et al.* (2000) estudaram a retenção de *flavor* em uma emulsão, na presença de maltodextrina, através da secagem por spray (*spray drying*) em várias composições do líquido a ser seco. A retenção do d-limoneno durante a secagem foi próxima de 100%, independente da concentração de maltodextrina ou do tipo de emulsificante utilizado. Já a retenção do butirato de etila aumentou (0-20%) com o aumento da concentração de maltodextrina e foi afetada pelo tipo de emulsificante. Como a emulsão deste último éter é instável devido à sua mais alta polaridade (maior solubilidade em água), deve haver uma desestabilização da emulsão no interior da gota. Assim, as altas concentrações de maltodextrina levaram à formação de uma crosta na superfície da gota, resultando em uma maior proteção do *flavor*. A adição de 1% de gelatina aumentou a retenção do butirato de

etila, principalmente quando emulsificado com goma arábica, indicando que a gelatina deve também promover a formação de uma crosta na superfície da gota.

Liu *et al.* (2000) usaram a técnica de secagem de uma gota única para investigar o mecanismo de perda de *flavors* hidrofóbicos (d-limoneno, caproato de etila e butirato de etila) em emulsão com uma solução aquosa com goma arábica e maltodextrina. A referida gota (formada por 5 µL da emulsão) foi suspensa na ponta de um filamento de vidro, colocado na extremidade superior de um túnel de secagem vertical e foi seca por ar aquecido (40 a 120°C). Uma maior retenção final foi obtida quando o d-limoneno estava presente, face à emulsão estável na presença deste componente e à sua baixa solubilidade, havendo apenas uma diminuição gradual no período inicial da secagem, seguido por uma retenção constante. No caso do butirato de etila, a sua retenção diminuiu rapidamente no período inicial da secagem, sendo que a retenção final foi maior com o aumento da temperatura do ar de secagem e da concentração inicial de sólidos, pois como a emulsão formada é muito instável, este componente difunde através da gota para evaporar sobre a superfície da mesma. Em temperaturas do ar e concentrações de sólidos mais altas, formou-se rapidamente uma crosta sobre a superfície da gota de modo que o butirato de etila não evaporou facilmente, aumentando assim a sua retenção.

Rega *et al.* (2002) desenvolveram um sistema-modelo tipo geléia contendo pectinas de alto grau de metoxilação e compostos importantes no aroma do morango, a fim de observar a liberação dos referidos compostos do sistema. A dessorção dos voláteis das amostras ocorreu em frascos hermeticamente fechados, que estavam acondicionados em um banho termostatizado sob agitação lenta a 40°C, até que o equilíbrio fosse atingido. Em seguida, uma alíquota da fase vapor (*headspace*) era retirada para ser analisada por cromatografia gasosa. A adição de pectina diminuiu a liberação dos compostos mais voláteis e hidrofóbicos. Esse fenômeno foi relacionado à formação de uma rede de gel que até mesmo a baixas concentrações de pectinas (cerca de 0,1% p/v) levou à diminuição da mobilidade dos voláteis. Não encontraram interações moleculares específicas entre os componentes do *flavor* e a pectina em solução aquosa sem açúcar.

2.4 ANÁLISE CROMATOGRÁFICA

A cromatografia é uma técnica de separação dos componentes de uma amostra, que serve também para identificar espécies químicas, quando combinada com outras técnicas instrumentais. Na técnica cromatográfica, os componentes da amostra são distribuídos entre duas fases, uma das quais permanece estacionária, enquanto a outra elui entre os interstícios ou sobre a superfície da fase estacionária. O movimento da fase móvel resulta numa migração diferencial dos componentes da amostra e seu mecanismo depende dos tipos de fase móvel e estacionária (ou fase ligada) utilizados (**Cecchi, 2001**).

Atualmente, a cromatografia gasosa é um dos procedimentos mais utilizados nos laboratórios modernos, pois, devido à sua grande sensibilidade, é capaz de separar e detectar centenas de compostos simultaneamente. Ela é uma técnica de separação em que a fase móvel é um gás e a fase estacionária pode ser um líquido (cromatografia líquido-gasosa – CLG) ou um sólido (cromatografia sólido-gasosa – CSG); o processo físico básico de separação por CSG é a adsorção. A CSG possui como fase estacionária um sólido de grande área superficial empacotado em uma coluna capilar, como sílica-gel ou carvão vegetal.

Ao ser injetada no cromatógrafo, a amostra é aquecida, vaporizada e arrastada pela fase móvel (gás inerte) para a coluna contendo a fase estacionária. Os componentes da amostra são retardados de forma seletiva pela fase estacionária e, deste modo, se estabelece um equilíbrio dos componentes em ambas as fases. Assim, os componentes da amostra movem-se na coluna numa velocidade determinada por vários fatores, principalmente pela força de retenção, que vai depender da solubilidade na fase estacionária e da volatilidade para a fase móvel. O hidrogênio e o hélio são gases utilizados como fase móvel, os quais conferem um menor tempo de análise e uma melhor separação dos compostos. As fases ligadas apresentam baixa volatilidade, estabilidade térmica e inatividade química (**Cecchi, 2001**).

As colunas capilares utilizadas em cromatografia gasosa suportam pequenas quantidades de amostra. Diferentes tipos de colunas podem ser empregadas, destacando-se a *WCOT* (*wall coated open tubular*), a *SCOT* (*support coated open tubular*), a *PLOT* (*porous layer open tubular*), a *FSOT* (*fused silica open tubular*) (**Thomazini, 1998**) e a *DB-WAX* *fused silica*.

2.5 ANÁLISES DE COMPOSTOS DE AROMA

As substâncias aromáticas são compostos voláteis que são detectados pelo tecido olfativo da cavidade nasal (**Belitz e Grosch, 1988**). O período de desenvolvimento dessas substâncias nas frutas começa durante o amadurecimento, quando quantidades minúsculas de lipídios, carboidratos, proteínas e aminoácidos são convertidos enzimaticamente em ésteres, aldeídos, cetonas e álcoois (**Heath e Reineccius, 1986**). As substâncias aromáticas são um grupo altamente diversificado, existindo em concentrações extremamente baixas (**Belitz e Grosh, 1988**).

A etapa de isolamento dos compostos voláteis de aroma é crítica, já que esses constituintes normalmente são termolábeis. Quando submetidos a uma determinada temperatura, podem sofrer uma série de reações químicas indesejáveis, como rearranjos e oxidações. Assim, em muitos casos, o isolado de compostos de aroma pode ter uma composição muito diferente daquela originalmente presente na amostra. Dessa forma, os métodos de isolamento devem ser eficientes e brandos, devido à quantidade, estabilidade e volatilidade dos referidos compostos (**Garruti, 2001**).

Os compostos de aroma podem ser analisados segundo a chamada análise do espaço vazio ou *headspace*, constituído por aqueles componentes que se encontram na forma de vapor sobre o alimento e que alcançam a mucosa olfativa. Nesta análise, o alimento é colocado em um recipiente fechado hermeticamente e uma amostra dos compostos aromáticos, na forma de vapor, é retirada para imediata análise cromatográfica. Quando se deseja obter os compostos totais de aroma presentes em uma amostra, estes são isolados na forma de um concentrado, mediante destilação fracionada a vácuo ou extração com gás inerte (**Belitz e Grosch, 1988**).

Como na análise do *headspace* a alíquota dos vapores a ser analisada é coletada de forma direta, os compostos que estiverem presentes em concentrações muito pequenas ou aqueles que apresentarem pressões de vapor relativamente baixas, podem não ser detectados no cromatógrafo. Então, os picos obtidos na análise cromatográfica serão apenas dos componentes com maiores pressões de vapor e dos presentes em quantidades elevadas (**Garruti, 2001**).

Particularmente para estudos de compostos com baixos pontos de ebulição, a análise do *headspace* se destaca como um dos melhores métodos disponíveis. Além de

fornecer reprodutibilidade, a técnica confere a manutenção da integridade química das moléculas, eliminando a formação de substâncias indesejáveis. Deste modo, os voláteis retidos e coletados a partir do *headspace* podem representar e caracterizar fielmente o aroma de uma fruta (Thomazini, 1998).

A composição do *headspace* nos alimentos não depende apenas da concentração e da pressão de vapor dos compostos voláteis presentes, mas de todos os componentes da matriz da fruta (como proteínas, carboidratos e lipídeos), os quais, conforme foi relatado por Leland (1997), exercem influência na estabilidade e na liberação dos compostos.

Devido à dificuldade de se isolar os componentes do *headspace* presentes em concentrações muito baixas ou que possuam uma pressão de vapor relativamente baixa, desenvolveu-se uma técnica de análise chamada de “análise dinâmica do *headspace*”. Nesta análise, os compostos voláteis são arrastados até um pequeno tubo de vidro empacotado com um leito de adsorvente, onde são coletados. Normalmente, utiliza-se um fluxo de nitrogênio purificado para realizar o arraste (Badings *et al.*, 1984, citados em Garruti, 2001).

A análise dinâmica do *headspace* apresenta uma série de vantagens com relação à análise direta dos vapores do *headspace*, por isso tem sido muito empregada, por exemplo, na pesquisa de sabor de alimentos e de bebidas. Dentre as principais características da primeira técnica (Garruti, 2001), podem-se destacar: a fase vapor do sistema atinge o equilíbrio com o produto, requer mínima manipulação da amostra e evita a destruição da mesma, a operação de isolamento e enriquecimento dos voláteis pode ocorrer à temperatura ambiente, sendo que as condições podem ser otimizadas, permite estudos qualitativos e quantitativos, possui baixo custo e as operações são simples. Na investigação de aromas em alimentos, a análise dinâmica do *headspace* tem sido muito utilizada devido às já citadas características específicas do método. Se as condições de adsorção/dessorção forem cuidadosamente padronizadas, a fase vapor imediatamente acima do alimento se aproxima do aroma percebido pelos consumidores. Além disso, os compostos voláteis são submetidos simultaneamente ao isolamento e ao enriquecimento em uma única operação, havendo a possibilidade da dessorção dos voláteis adsorvidos no polímero poroso diretamente no cromatógrafo gasoso. A técnica permite ainda estudar os compostos voláteis produzidos nos diferentes estágios da maturação de frutas e vegetais, assim como verificar em quais etapas do processamento de alimentos há perda de compostos voláteis de interesse (Thomazini, 1998).

Franco (1992) pesquisou muito sobre os sistemas de coleta para os voláteis extraídos das amostras, dando ênfase às propriedades dos diferentes adsorventes que poderiam fazer parte do referido sistema. Adsorventes como *Tenax*, *Chromosorb* e *Porapak* são muito utilizados, já que a sua composição consegue refletir a da amostra, em equilíbrio com um sistema fechado.

A análise de voláteis do aroma de frutas e de sucos de frutas tem sido muito utilizada pela técnica de amostragem dinâmica do *headspace*. Os componentes voláteis do suco de graviola e de mamão foram isolados segundo este método, no trabalho realizado por **Franco e Rodriguez-Amaya (1983)**. O aroma foi arrastado até o meio de coleta por sucção (vácuo de 14,06 psi ou 96,89 kN/m²). Os resultados demonstraram que a coleta dos componentes voláteis dos sucos das referidas frutas, em um sistema de captura composto pelo adsorvente *Porapak Q*, é aplicável a amostras complexas como voláteis de frutas, desde que devidamente escolhidas as condições de operação. O método mostrou-se altamente reprodutível, sem alterar significativamente a composição original da amostra.

Certos materiais constituídos por polímeros porosos sintéticos, como *Tenax* e *Porapak*, adsorvem os compostos voláteis de interesse, ao mesmo tempo que não adsorvem oxigênio, nitrogênio e principalmente vapor de água. Este último pode saturar a câmara de injeção durante a análise cromatográfica, modificar os tempos de retenção, diminuir a vida útil da coluna e interferir na obtenção de espectros de massas (**Thomazini, 1998**).

Janzantti (1996) estudou os componentes voláteis da maçã, cultivar Fuji, bem como as alterações do aroma do suco após o processamento. Utilizou a técnica de enriquecimento dos voláteis do *headspace* em polímero poroso (*Porapak Q*) e eluição em hexano para a realização do isolamento dos voláteis da fruta, do suco prensado, do suco clarificado e do suco pasteurizado. **Bastos (1996)** utilizou também a mesma técnica para a determinação dos compostos voláteis de méis de eucalipto e laranja recém extraídos dos favos. A metodologia de isolamento foi padronizada para o tempo de captura dos voláteis e o tipo de solvente para eluição no polímero.

Segundo **Weurman (1969)**, se o procedimento analítico alterar a distribuição dos componentes voláteis entre o alimento e o *headspace*, então os resultados obtidos podem não refletir o aroma do alimento. Em seu trabalho, adicionou alguns sais à solução em estudo com o intuito de aumentar a participação dos componentes voláteis na composição do *headspace*. Entretanto, o procedimento pouco tem contribuído para diferenciar uma

distribuição geral dos componentes, embora confira sensibilidades diferentes para certas classes de compostos, como álcoois e aldeídos (**Poll e Flink, 1984**).

Já **Maarse (1991)** recomenda a adição de sal para a prevenção e inibição de transformações enzimáticas que degradam compostos voláteis durante a operação de amostragem. Durante a operação, há liberação de enzimas após o rompimento das células, provocando rápidas mudanças no aroma da fruta tais como hidrólise de ésteres e ácidos carboxílicos, degradação de ácidos graxos por lipoxigenases, rearranjos de monoterpenos, entre outras. **Franco e Shibamoto (2000)** adicionaram 30% p/p de cloreto de sódio durante a preparação das amostras para o estudo da composição de compostos voláteis de algumas frutas tipicamente brasileiras como umbu-cajá, camu-camu, araçá-boi e cupuaçu. Através da técnica de extração dinâmica do *headspace* isolaram os compostos voláteis dessas frutas e os identificaram utilizando cromatografia gasosa e espectrometria de massa.

2.6 ABACAXI

O abacaxi é uma planta originária do continente americano, sendo encontrado desde a América Central até o norte da Argentina. O centro de origem parece ter sido o Brasil central, de onde se disseminou para as demais regiões (**Convênio Geida – FCTPTA, 1971**). A produção mundial de abacaxi para os anos de 1997, 2001 e 2004, segundo a **FAO (2006)** é apresentada na Tabela 1; na Tabela 2 é apresentada a produção dos principais estados brasileiros para os referidos anos. Pode-se observar que o Brasil é um dos grandes produtores mundiais da fruta, contribuindo ao redor de 9% na produção mundial. Já no Brasil, a produção concentra-se principalmente nos estados do Pará, Paraíba e Minas Gerais, correspondendo a cerca de 60% da produção nacional de abacaxi.

O abacaxi (*Ananas comosus* L. Meer) é uma planta monocotiledônea pertencente à família *Bromeliaceae*, apresentando inúmeras espécies, sendo as mais importantes as que pertencem a dois gêneros: *Ananas* e *Pseudoananas* (**Convênio Geida – FCTPTA, 1971**). Na Tabela 3 apresenta-se a composição química básica da polpa do abacaxi encontrada por **Dull (1971)**.

O abacaxi é uma fruta muito apreciada pelo seu aroma agradável e sabor refrescante e por suas qualidades nutricionais (**Medina et al., 1987**). No Brasil existe uma série de cultivares, sendo que a variedade *Pérola* é mais consumida na forma *in natura* e a

Smooth Cayenne é a mais utilizada pela indústria e/ou exportação (Savitci *et al.*, 1996; citados por Nicoletti, 2001).

Tabela 1. Produção mundial e dos principais países produtores de abacaxi

Países	Produção (mil toneladas)		
	1997	2001	2004
Tailândia	2083	2078	1900
Filipinas	1638	1618	1759
Brasil	1073	1430	1435
China	828	1258	1420
Índia	1250	1220	1300
Total (Mundial)	12935	14964	15288

Fonte: **FAO (2006)**

Tabela 2. Produção nacional e dos principais estados brasileiros produtores de abacaxi

	Produção (milhões de frutos)		
	1997	2001	2004
Pará	247	209	315
Paraíba	217	229	268
Minas Gerais	310	370	219
Bahia	70	119	118
Rio Grande do Norte	55	53	108
São Paulo	40	65	87
Maranhão	56	52	36
Espírito Santo	55	29	31
Brasil	1205	1350	1436

Fonte: **IBGE (2006)**

Tabela 3. Composição química básica da polpa de abacaxi maduro

°Brix	10,8 – 17,5
Água (%)	81,2 – 86,2
Acidez Titulável (% ácido cítrico)	0,6 – 1,62
Cinzas (%)	0,30 – 0,42
Ésteres (ppm)	1,0 – 250
Extrato Etéreo (%)	0,2
Proteína (%)	0,181
Sacarose (%)	5,9 – 12,0
Glicose (%)	1,0 – 3,2
Frutose (%)	0,6 – 2,3

Fonte: **Dull (1971)**

2.6.1 Componentes do Aroma do Abacaxi

Sgarbieri (1966) estudou a composição do abacaxi e a distribuição dos compostos voláteis em diversas partes do fruto. Na Tabela 4 apresenta-se a distribuição de ésteres em diversas porções do fruto.

Takeoka et al. (1989) isolaram os compostos voláteis do abacaxi (*Ananas comosus* [L.] Merr, variedade *Smooth Cayenne*) *in natura* (polpa homogeneizada, coroa e fruta inteira), pelos métodos de amostragem dinâmica por *headspace* e por destilação a vácuo, sendo que estes compostos foram analisados por cromatografia gasosa-espectrometria de massa. Demonstrou-se no estudo que os voláteis da polpa e da fruta intacta são ésteres, álcoois, hidrocarbonetos e compostos carbonílicos. Para se conhecer a contribuição dos compostos identificados com relação ao aroma global de uma determinada amostra, **Guadagni et al. (1966)**, citados em **Engel (1990)**, definiram a unidade de odor (Uo) como sendo a razão entre a concentração do composto e seu limiar de odor. Assim, compostos como hexanoato de metila, butanoato de metila e octanoato de metila, embora tenham sido encontrados por **Takeoka et al. (1989)** em grande quantidade na polpa homogeneizada do abacaxi, têm baixa contribuição no aroma total da fruta. Na Tabela 5 apresentam-se os principais compostos voláteis da polpa do abacaxi homogeneizada,

encontrados por **Takeoka *et al.* (1989)**, com seus respectivos limiar de odor, concentração e unidades de odor.

Tabela 4. Distribuição dos ésteres voláteis em diversas porções de frutos de abacaxi

Cor da casca	Parte do fruto	Ésteres (g/litro)
Verde	Aderente à casca	0,326
	Porção externa da polpa	0,321
	Porção interna	0,326
	Cilindro central	0,304
	Terminais (ápice e base)	-
Amarela	Aderente à casca	0,084
	Porção externa da polpa	0,097
	Porção interna	0,101
	Cilindro central	0,062
	Terminais (ápice e base)	0,013

Fonte: **Sgarbieri (1966)**

Tabela 5. Limiar de odor, concentração e unidades de odor dos principais constituintes da polpa de abacaxi (variedade *Smooth Cayenne*)

Constituintes	Limiar de Odor (ppb) em água	Concentração (ppb)	Unidades de Odor
metil-2-metil-butanoato	0,25	2079	8316
etil-2-metil-butanoato	0,30	66	220
acetato de etila	5,0	505	101
hexanoato de etila	1,0	99	99
butanoato de etila	1,0	92	92
hexanoato de metila	70	3442	49
butanoato de metila	60	2026	33,8
octanoato de metila	200	1451	7,3

Fonte: **Takeoka *et al.* (1989)**

Entretanto, sabe-se que outros compostos como o furaneol (2-5-dimetil-4-hidroxi-3(2H)-furanona) (**Pickenhagen et al., 1981**) contribuem de uma forma muito maior ao aroma do abacaxi ($U_o = 2,5 \times 10^5$), porém este componente não foi recuperado pelas técnicas de amostragem utilizadas por **Takeoka et al. (1989)**.

Engel et al. (1990) relataram que o aroma do abacaxi só pode ser explicado pela contribuição de vários compostos. **Berger et al. (1983)**, acreditaram que a fração não polar do abacaxi poderia ser importante para o *flavor* global desta fruta; no entanto, através de investigações usando CGC-MS (cromatografia gasosa – espectrometria de massa), os autores verificaram que apenas um dos compostos extraídos teria um aroma “frutal”; assim, o aroma da fração não polar extraída foi atribuído a alguns componentes-traços não identificados. **Berger et al. (1985)** realizaram novamente a extração de voláteis de abacaxi e identificaram através de CGC-MS que compostos não polares presentes em quantidades traços, destacando-se entre eles o undeca-1,3,5-trieno e o undeca-1,3,5,8-tetraeno, podem contribuir na impressão global do aroma do abacaxi, pois possuem um dos mais baixos limiares de detecção de odor. Esses autores notaram ainda que a desintegração do tecido da fruta sem inibição da ação enzimática pode causar uma rápida diminuição na concentração dos referidos voláteis, a qual pode ser um dos fatores responsáveis pelas perdas no aroma durante o processamento do abacaxi (**Engel et al., 1990**).

No estudo realizado por **Tokimoto et al. (2005)**, os autores verificaram através de análises cromatográficas e sensoriais que o 2-5-dimetil-4-hidroxi-3(2H)-furanona e o etil 2-metil butanoato são substâncias que contribuem para o impacto no aroma do abacaxi *in natura*. **Elss et al. (2005)** também encontraram 2-5-dimetil-4-hidroxi-3(2H)-furanona em sucos preparados a partir de abacaxis *in natura* e também hexanoato de etila e butanoato de etila, entre outros ésteres. Os voláteis foram extraídos das amostras de suco por extração líquido-líquido, usando uma mistura de pentano-diclorometano (2:1 v/v), durante 48 horas a 30°C. O hexanoato de etila presente no referido suco apresentou uma concentração média de 500 µg/L e o 2-5-dimetil-4-hidroxi-3(2H)-furanona uma concentração média de 960 µg/L.

2.6.2 Secagem de Abacaxi

Os equipamentos utilizados em estudos de secagem convectiva encontrados na literatura, normalmente utilizam ar aquecido como agente secante, podendo ser constituídos de um túnel de secagem, pelo qual o ar é circulado com o auxílio de ventiladores ou sopradores e aquecido. Os trabalhos desenvolvidos por **Uddin e Hawlader (1990)**, **Vélez-Ruiz *et al.* (2000)**, **Nicoletti *et al.* (2001)** e **Ramallo e Mascheroni (2004)**, utilizaram tais equipamentos para secagem de abacaxi.

Uddin e Hawlader (1990) secaram amostras de abacaxi *in natura* e submetidas ao processo de desidratação osmótica com 5,0 a 20,0 mm de espessura, em temperaturas entre 50 a 80°C; em qualquer um dos experimentos não foi observado o período de taxa constante de secagem. Os coeficientes de difusão efetiva das amostras secas (pré-tratadas ou não) aumentaram à medida que a espessura da amostra foi maior. Os autores concluíram que este comportamento pode ter ocorrido porque as amostras mais espessas desenvolveram estruturas internas diferentes das amostras mais finas durante a secagem devido ao encolhimento.

Nicoletti *et al.* (2001) também secaram amostras de abacaxi *in natura* e submetidas ao processo de desidratação osmótica, na forma de fatias de 10 mm de espessura. As velocidades do gás de secagem utilizadas estiveram entre 1,5 e 2,5 m/s. A temperatura foi controlada de duas maneiras: por meio do controle do gás de secagem (40 a 70°C) e por meio do controle da temperatura do produto (35 a 50°C). Os autores também não verificaram o período da taxa constante de secagem, indicando que a difusão foi o mecanismo dominante no transporte de umidade nas fatias de abacaxi. As curvas de secagem a 35 e a 50°C, quando a temperatura do processo foi controlada pela temperatura da amostra, foram similares às curvas a 50 e 70°C (controle feito pela temperatura do gás de secagem), respectivamente, para a mesma velocidade do gás de secagem. O controle da temperatura na fatia permitiu que a temperatura do gás de secagem pudesse ser elevada no início do processo, quando a umidade do material está alta; à medida que a secagem avança, a temperatura do agente secante vai diminuindo, pela gradual redução de umidade da amostra. A vantagem desse tipo de controle é que no fim da secagem, a temperatura do gás tende a se aproximar à temperatura do sólido, prevenindo assim danos na amostra devido ao calor.

Vélez-Ruiz et al. (2000) realizaram um estudo da secagem de fatias de abacaxi (variedade *Smooth Cayenne*), pré-tratados osmoticamente ou não, com 1,0 cm de espessura ($\pm 0,1$ cm) e 10 cm de diâmetro, em temperaturas entre 65 e 85 °C, atividades de água: 0,97 (33 °Brix); 0,98 (24 °Brix); 0,99 (11°Brix) e velocidades de ar entre 0,55 e 1,6 m/s. A secagem foi realizada até atingir-se uma atividade de água final de 0,70 ou 0,45 g umidade/ g sólido seco. A curva de secagem do abacaxi *in natura* exibiu um breve período de taxa constante e um período de taxa decrescente. Já o abacaxi pré-tratado exibiu uma curva de secagem com apenas um período de taxa decrescente. A isoterma de dessorção para o abacaxi ajustou-se muito bem ao modelo de GAB.

Já **Ramallo e Mascheroni (2004)** estudaram a redução do teor de ácido ascórbico em fatias de abacaxi, secas em temperaturas de 45, 60 e 75°C, utilizando-se uma velocidade do gás de secagem de 2,5 m/s. Os autores verificaram que nos experimentos de secagem a 45°C, obteve-se uma maior retenção de ácido ascórbico, sendo que neste caso a sua concentração final foi ao redor de 85% da concentração inicial, em uma umidade final de abacaxi ao redor de 1,0 g umidade/ g sólido seco.

Pelo que pôde ser observado na presente revisão bibliográfica, há uma carência de trabalhos na literatura que utilizem equipamentos que permitam a modificação e o controle da composição do agente secante durante o processo de secagem, podendo-se citar apenas os trabalhos desenvolvidos por **Schultz e Schlünder (1990)** e por **Tietz e Schlünder (1993)** (item 2.1). Sendo assim, como é interessante verificar a influência da composição do gás de secagem nas características do produto final seco, justifica-se a necessidade do desenvolvimento de secadores compatíveis com tal fim.

CAPÍTULO 3

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE SECAGEM COM ATMOSFERA MODIFICADA E CONTROLADA

Neste capítulo apresenta-se a montagem do equipamento e a implementação do sistema de aquisição e controle dos dados obtidos.

Devido ao alto custo do material utilizado para a montagem do equipamento de secagem, foi construído um protótipo do túnel de secagem feito de placas de madeira, com a finalidade principal de se obter um conhecimento prévio do equipamento e de fatores que poderiam influenciar na sua construção.

Antes de se construir o equipamento, necessitou-se saber várias características do mesmo, como a distância mínima necessária entre o bico atomizador, responsável pela adição de líquidos à atmosfera de secagem, e os equalizadores de fluxo de gás (telas) e entre os equalizadores e a amostra a ser seca. Foi necessário estabelecer as distâncias mínimas entre os acessórios devido à limitação de espaço, pois como o equipamento possui muitos componentes, ele poderia ficar muito longo. Deve-se ter uma distância mínima entre o bico atomizador e as telas, a fim de que se possa garantir que o fluido líquido após ser atomizado em minúsculas gotículas, possa evaporar totalmente na corrente de ar, antes de atingir os equalizadores. Caso contrário, parte das gotículas do fluido pode aderir às telas, formando uma massa de líquido, a qual não contribuirá para a secagem, ocasionando erros no controle da concentração de vapor de fluido na corrente de gás. Foi importante estabelecer a distância mínima entre os equalizadores de fluxo de gás e a amostra, porque o gás que incidirá na amostra deve ter um fluxo o mais estável possível para facilitar o controle do processo. Além disso, quanto menor for o gradiente de velocidade ao longo da seção transversal do túnel, melhor é a mistura do ar com o(s) fluido(s) adicionado(s). Ainda deve-se ter uma distância mínima entre a amostra e a ponta do túnel onde saem (ou recirculam) os gases, pois neste local pode ocorrer uma certa turbulência, interferindo na corrente de gás que incide sobre a amostra.

3.1 MONTAGEM DO SISTEMA DE SECAGEM

O equipamento construído para se realizar os experimentos de secagem, foi baseado em um túnel de secagem em atmosfera normal desenvolvido por **Kairui e Pakowski (1996)**. Um esquema do equipamento é apresentado na Figura 1. A amostra é colocada em um secador do tipo túnel, onde o gás de secagem pode ser recirculado ou descartado e o experimento de secagem pode ser iniciado na condição desejada (umidade relativa, temperatura, velocidade e composição do ar). O processo é monitorado continuamente pelo computador, registrando tempo, massa da amostra e temperatura do gás. Testes de secagem podem ser realizados sob diferentes condições do ar de secagem, sendo que a sua composição pode ser modificada e controlada pela adição de outras substâncias como nitrogênio e etanol. No caso do etanol ser o agente modificador da atmosfera de secagem, este é adicionado na corrente de ar por bico atomizador, após os aquecedores, a fim de assegurar a segurança da operação.

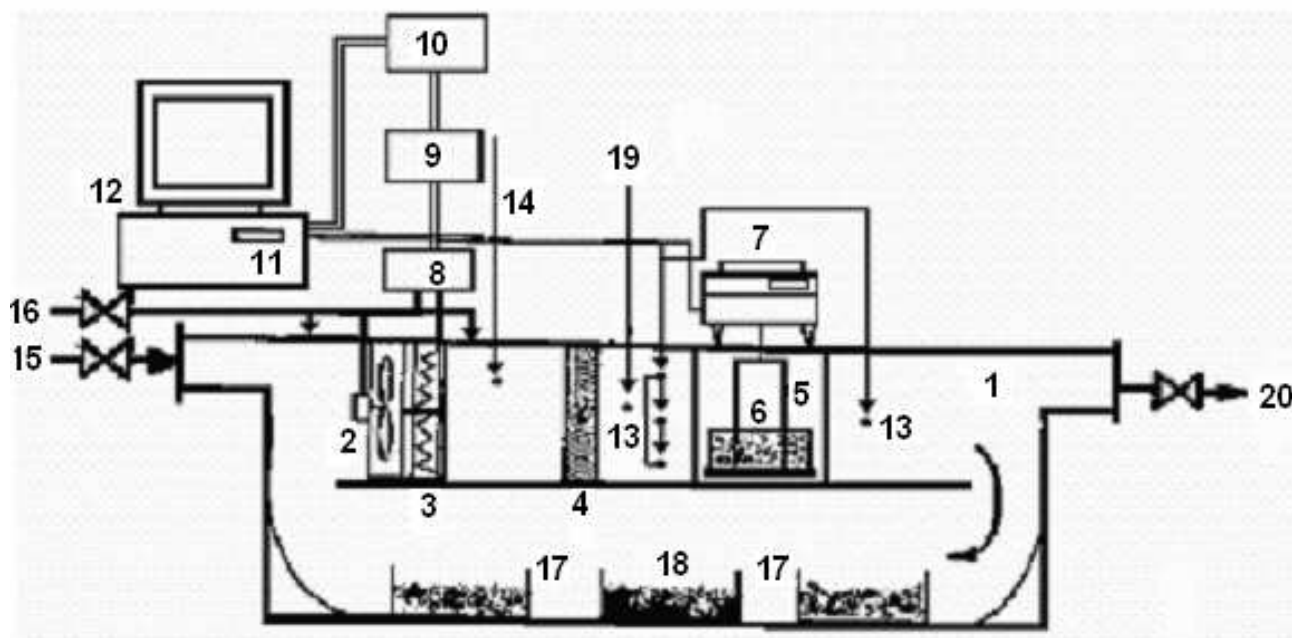


Figura 1. Esquema do sistema utilizado no processo de secagem

Conforme apresentado na Figura 1, o equipamento é composto dos seguintes itens:

1. Túnel de policarbonato: a célula de secagem é composta por um túnel de paredes de policarbonato com 1,7 m de comprimento e 0,175 m de largura interna, cuja altura é de 0,41 m. O túnel possui um sistema de recirculação do gás de secagem, o qual pode ser admitido no equipamento na parte superior e recirculado através da parte inferior.
2. Ventilador: possui forma quadrada e compacta, com dimensões de 0,165 m x 0,165 m.
3. Sistema de Aquecimento: o gás de secagem é aquecido por um conjunto de seis (06) resistências elétricas blindadas e aletadas, ajustando-se exatamente à largura do túnel.
4. Equalizadores do fluxo de gás: são constituídos por um conjunto de telas de aço inoxidável com 0,41 mm de abertura de malha.
5. Porta-amostra.
6. Amostra.
7. Balança eletrônica.
8. Relês de Estado Sólido: controlam o funcionamento do sistema de aquecimento e do ventilador, a partir do sinal de saída de um Controlador Lógico Programável (CLP).
9. Controlador Lógico Programável (CLP): tem a função principal de comandar a lógica de funcionamento das resistências elétricas e do ventilador.
10. Fotoacopladores: fazem a comunicação entre o Controlador Lógico Programável (CLP) e o Sistema de Aquisição de Dados.
11. Sistema de Aquisição de Dados: faz a aquisição contínua dos dados de temperatura e do peso da amostra, além de realizarem a lógica de controle de algumas variáveis.
12. Microcomputador: o sistema de aquisição de dados (*hardware* e *software*) está acoplado a um microcomputador.
13. Termopares: são colocados quatro (04) termopares na corrente do gás de secagem, três (03) antes da amostra e um (01) após, a fim de ser determinada a temperatura de bulbo seco do gás de secagem nesses pontos.
14. Entrada de líquido: líquidos, tais como o etanol, podem ser adicionados para modificar a atmosfera de secagem por meio de um bico atomizador de duplo fluido, sendo

o deslocamento dos fluidos realizado com o auxílio de uma bomba peristáltica e de um compressor de ar.

15. Entrada do ar.

16. Entrada de outro gás: gases, como nitrogênio, podem também ser adicionados, a fim de modificar a atmosfera de secagem.

17. Bandejas com soluções salinas: quando o gás de secagem é recirculado, as soluções salinas controlam a sua umidade relativa.

18. Bandeja com sílica: auxilia na adsorção do excesso de umidade do ar recirculado.

19. Medidas da velocidade e da umidade relativa do gás de secagem: realizadas por um termoanemômetro e por um psicrômetro, respectivamente, colocados diretamente no gás de secagem.

20. Saída do gás.

Nos itens a seguir, apresenta-se detalhadamente o trabalho desenvolvido na montagem do sistema de secagem.

3.2 SISTEMA DE SECAGEM

O sistema de secagem é composto, além do túnel de secagem propriamente dito, de uma série de aparatos, destacando-se:

- Acessórios do túnel de secagem
- Acessórios externos, compostos por equipamentos auxiliares
- Sistema de aquisição e controle de dados

3.2.1 Túnel de Secagem

Na Figura 2 apresenta-se uma fotografia do equipamento para secagem sob atmosferas normal e modificada, na qual se pode destacar:

1- Túnel de secagem

- 2- Posição do ventilador para o fornecimento e recirculação do gás de secagem.
- 3- Posição do sistema de aquecimento do gás de secagem.
- 4- Posição do sistema de equalização do fluxo de gás, composto por telas de aço inoxidável.
- 5- Posição onde fica a amostra a ser seca.
- 7- Balança eletrônica para a pesagem da amostra.
- 14- Entrada para líquidos a fim de modificar a atmosfera de secagem.
- 15- Entrada do ar
- 16- Entrada para gases a fim de modificar a atmosfera de secagem.
- 17- Posição onde ficarão as soluções salinas e/ou sílica para controle da umidade relativa do gás de secagem, quando este for recirculado.
- 19- Posição onde são medidas a velocidade e a umidade relativa do gás de secagem
- 20- Saída do gás



Figura 2. Equipamento utilizado nos experimentos de secagem sob atmosferas normal e modificada (mesma numeração utilizada na Figura 1)

As paredes do equipamento foram construídas com chapas de policarbonato (PC). Os policarbonatos são plásticos de engenharia tipo amorfo e com elevado peso molecular, sendo semelhante ao vidro, porém altamente resistente ao impacto. É cerca de 250 vezes mais resistente do que o vidro e 30 vezes mais do que o acrílico, possuindo uma boa resistência térmica, podendo ser usado em temperaturas de até 120 – 130 °C. No entanto, sua resistência a agentes químicos é pequena. O policarbonato foi escolhido por ser um material bastante resistente, conforme as características descritas. Além disso, em trabalhos futuros, o interior do túnel poderá ser iluminado, a fim de permitir que a amostra que estiver sendo seca possa ser filmada por uma câmera digital; então, com o policarbonato, não haverá o problema da reflexão de luz no interior do equipamento, o que poderia causar problemas nas imagens obtidas.

A espessura escolhida das chapas de policarbonato foi de 8,0 mm, a fim de fornecer uma estrutura bem rígida e de facilitar a conexão das chapas e dos acessórios.

Nos experimentos de secagem relacionados ao presente trabalho, o gás é modificado pela adição de outros fluidos como o etanol, em concentrações muito baixas. Embora essa substância não fosse danificar o policarbonato, trabalhos futuros que utilizarem o equipamento podem usar outros compostos, os quais podem ser prejudiciais ao material. Então, optou-se por revestir internamente as paredes do equipamento com chapas de polipropileno de 2,0 mm de espessura. O polipropileno, em seu estado natural, é uma resina semi-translúcida e leitosa, sendo recomendado nos casos em que for necessário uma maior resistência química, não sendo atacado pela maioria dos agentes químicos de natureza orgânica, mesmo em altas temperaturas. Possui ainda uma baixíssima adsorção de umidade e uma boa resistência ao impacto; além disso, é comprovadamente atóxico. O polipropileno possui também um baixo custo e uma boa estabilidade térmica (opera até 115°C), sendo considerado um plástico leve ($\rho = 910 \text{ kg/m}^3$).

Na região do sistema de aquecimento, a temperatura é mais alta, dependendo das condições de temperatura e velocidade do ar requeridas; então, para prevenir o risco de haver uma aquecimento excessivo das paredes do equipamento, o policarbonato foi revestido internamente com um isolante térmico à base de fibra cerâmica de 6,0 mm de espessura. Este material suporta temperaturas elevadas e pela sua estrutura protege bem o policarbonato de eventuais aumentos bruscos de temperaturas na referida região. No entanto, como a fibra cerâmica adsorve umidade, visto que possui uma porosidade bem

alta, revestiu-se o isolante térmico com chapas de teflon de 1,0 mm de espessura. O teflon é atóxico, suporta temperaturas elevadas (até 250 °C) e não adsorve umidade.

Na seção onde se localiza o ventilador e as resistências elétricas, o equipamento foi construído com dimensões internas de 0,167 m, devido à presença do isolamento térmico já citado; com essas dimensões, o ventilador (dimensões de 0,165 m x 0,165 m) pôde ficar bem encaixado no túnel. No restante do túnel, a seção transversal de cada um dos “andares” é de 0,175 m x 0,175 m.

3.2.1.1 Sistema para a Entrada de Gases

O fluido gasoso que pode ser adicionado ao sistema de secagem a fim de modificar a atmosfera de secagem, tem duas posições de entrada no túnel: uma delas no início do túnel, antes do ventilador e outra após o sistema de aquecimento, próximo ao local de injeção de fluidos líquidos.

3.2.1.2 Entrada de Ar

O ar de secagem é admitido no equipamento pelo “andar” de cima, 0,12 m antes do ventilador. A vazão de ar é controlada pela variação da abertura da portinhola do túnel, conforme descrito no item 3.4.1.

3.2.2 Acessórios do Túnel de Secagem

O túnel de secagem tem diversos acessórios conectados a ele: ventilador compacto (*cooler*), sistema de aquecimento, bico atomizador, equalizadores do fluxo de gás e termopares.

3.2.2.1 Ventilador Compacto (*Cooler*)

O sistema de fornecimento de ar para o túnel de secagem é constituído de um pequeno ventilador, usado em microcomputadores para o resfriamento interno, com estrutura quadrada; suas dimensões são de 0,165 m x 0,165 m, sendo o equipamento encontrado no mercado que mais se aproximou das características do túnel de secagem. Trabalha sob uma tensão de 220 V, com uma potência de 40 W, ficando acoplado a uma distância de 0,12 m da extremidade inicial do túnel (extremidade da entrada do ar).

Na Figura 3 destaca-se o ventilador que é utilizado para o fornecimento do ar ou a recirculação do gás de secagem.

3.2.2.2 Sistema de Aquecimento

O sistema de aquecimento do ar de secagem é constituído por um conjunto de seis (06) resistências elétricas conectadas individualmente, sendo que cada uma delas possui 0,15 m de comprimento, ajustando-se à largura do túnel. Este sistema foi colocado perpendicularmente à corrente de ar, sendo que as aletas estão na mesma direção desta corrente. As resistências foram acopladas ao túnel de secagem de maneira que se tivessem dois conjuntos de aquecimento, um em frente do outro. Estas são construídas por material blindado, possuindo aletas quadradas (5,0 mm x 3,5 mm) em toda a sua extensão, com a finalidade de distribuir de forma homogênea a temperatura do ar por toda a seção transversal do túnel de secagem. As resistências foram acopladas em duas fileiras, preenchendo de forma equidistante a área da seção transversal do túnel, sendo que aquelas de potência mais baixa estão mais próximas ao ventilador, a uma distância de 0,08 m. Verificou-se em testes preliminares no túnel de madeira que não há riscos de superaquecer o ventilador com esse distanciamento. Assim, o primeiro conjunto (do lado do ventilador) é composto de três (03) resistências de 150 W de potência cada e o segundo conjunto está acoplado ao túnel da mesma forma, porém constituído por resistências de 250 e 700 W.

Na Figura 3 apresenta-se o sistema de aquecimento, formado pelas referidas resistências, juntamente com o ventilador.

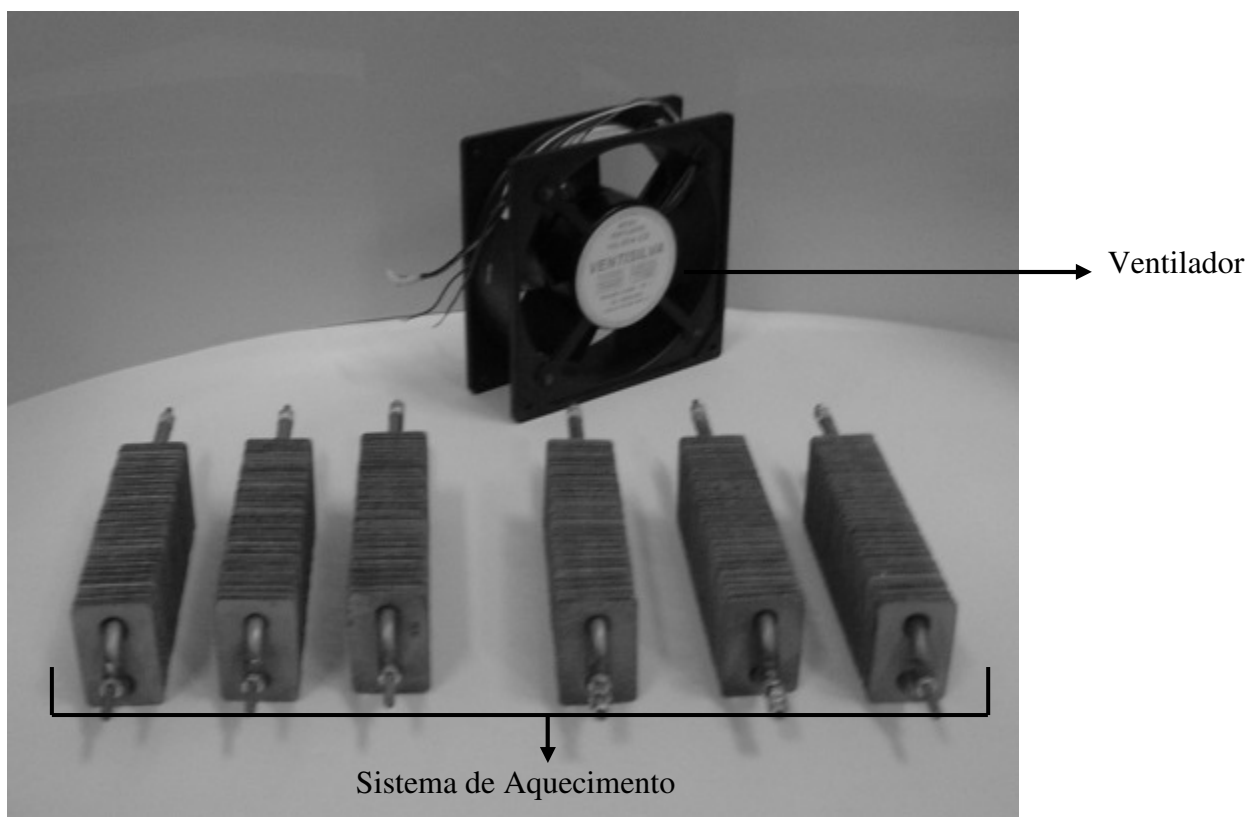


Figura 3. Ventilador e sistema de aquecimento usados no processo de secagem

3.2.2.3 Bico Atomizador para a Entrada de Líquido

Este acessório tem a finalidade de adicionar líquido à corrente de ar, a fim de modificar a atmosfera de secagem. Ao passar pelo bico, o fluido líquido é atomizado em pequenas gotículas, permitindo então que seja incorporado à corrente de ar. É construído em latão, possuindo entradas de duplo fluido, ou seja, o líquido é atomizado ao misturar-se com uma corrente de ar comprimido que também é adicionada ao bico atomizador. O bico é modelo da *Spraying Systems Co*[®] do tipo 1/8JJ + SUJ1A, constituído por um *set-up* de pulverização com capa de fluido + capa de ar de especificações J1650 e J64, respectivamente. Este conjunto foi escolhido por produzir baixas vazões de líquido atomizado, face à pequena quantidade de fluido que é necessária para modificar a atmosfera de secagem.

O bico atomizador se encontra a uma distância de 0,44 m a partir da extremidade inicial do túnel, estando centralizado na seção transversal do equipamento e separado cerca

de 0,10 m do sistema de aquecimento. A seção transversal na região do bico possui dimensões de 0,175 m x 0,175 m.

No equipamento feito de placas de madeira foi testado o sistema de atomização para a injeção de líquido na atmosfera de secagem. Utilizou-se pressão de atomização na faixa de 0,70 – 0,75 kgf/cm² manométricos (68,6 – 73,5 kN/m²), sendo que nesta pressão verificou-se que as gotículas de etanol formadas foram muito pequenas, evaporando-se rapidamente. Observou-se, também, que o ar adicionado pelo bico atomizador não prejudicou a corrente de gás, de modo a promover turbulência ao atingir a amostra. O bico atomizador de duplo fluido utilizado produz um padrão de pulverização de seção cônica, sendo que para a pressão de trabalho utilizada, o ângulo de atomização (aproximadamente 18°) é mantido até uma distância de 0,28 – 0,30 m a partir da saída do bico. Com isso, consegue-se ter um padrão de espalhamento de fluido atomizado com um jato de aproximadamente 0,09 m de diâmetro. Com o ventilador ligado, o espalhamento e mistura do atomizado na corrente de ar ocorre de maneira bem mais efetiva, de modo a se ter um espalhamento com um diâmetro um pouco maior.

Com a finalidade de observar o padrão de espalhamento na corrente de ar, foram realizados testes preliminares de atomização de etanol no túnel de madeira, usando um corante (azul de metileno) dissolvido em álcool. Para a observação do grau de espalhamento do fluido atomizado, foram colocadas folhas brancas em diferentes distâncias da seção transversal do túnel. A partir dos testes, pôde-se verificar visualmente que a 0,40 m do bico, o atomizado espalhou-se muito bem na corrente de ar, para velocidades de gás bem baixas (0,25 m/s). Nas velocidades de gás mais elevadas, o espalhamento ocorreu a distâncias do bico menores do que 0,40 m. Observou-se também que na temperatura ambiente (25 – 30°C), em velocidades de gás mais baixas, a evaporação ocorreu em até 0,30 m após o sistema de atomização. Por essa razão, após todos os testes preliminares com o sistema de atomização, colocou-se os equalizadores de fluxo (conjunto constituído por um par de telas de aço inoxidável) a 0,45 m do bico.

3.2.2.4 Equalizadores do Fluxo de Gás

O conjunto de telas utilizado no interior do equipamento foi construído com tela de aço inoxidável, para não haver o risco de oxidação ao entrar em contato com o gás de

secagem. Antes de se escolher qual o diâmetro de malha da tela, fizeram-se testes preliminares com telas de tecido com diferentes diâmetros de malha (esticadas em uma moldura quadrada de madeira), por questões de custo. Além disso, foi necessário verificar qual o número máximo de camadas de tela que se poderia utilizar, de modo que não causasse uma perda de carga muito elevada, o que ocasionaria velocidades máximas de gás muito baixas, já que o ventilador usado possui uma potência muito baixa (40 W).

Observou-se através desses testes que o diâmetro de malha da tela não poderia ser maior do que 0,5 mm. Pois, caso contrário, a equalização do fluxo gás, após o bico atomizador, ocorreria a distâncias muito grandes, a partir das telas. Então, foi escolhida a tela com 0,41 mm de abertura de malha, feita de fios de inox com fio de 0,23 mm de diâmetro. Os testes foram realizados com o bico atomizador em funcionamento e sem o sistema de atomização. A injeção de ar se deu na pressão de atomização que iria ser utilizada para o etanol, que é entre 0,70 a 0,75 kgf/cm² (68,6 a 73,5 kN/m²). Para o diâmetro de malha escolhido, usando-se duas telas, a velocidade máxima obtida foi de cerca de 1,5 m/s. Porém, quando foi colocado uma tubulação de alumínio corrugado de 0,15 m de diâmetro na saída do túnel de secagem, a fim de que os gases fossem descartados externamente ao ambiente de trabalho, a velocidade máxima obtida foi de 0,85 m/s. Em trabalhos futuros, caso seja necessário trabalhar com maiores velocidades de gás, pode-se injetar ar no túnel, mediante o auxílio de um pequeno compressor, pois foi feito um pequeno canal de entrada de fluido na face superior do equipamento, de modo a permitir a injeção. A velocidade do gás foi medida por um termômetro colocado a uma distância de 0,35 m após o equalizador do fluxo de gases.

Com a finalidade de se verificar qual a distância mínima necessária entre a amostra e o conjunto de telas, mediu-se a velocidade do gás em pontos com diferentes distâncias desse conjunto. Em cada ponto de medida, a uma determinada distância das telas, realizaram-se medidas em diversas alturas da seção transversal do túnel. Com o uso de um conjunto de duas telas, na velocidade máxima do gás, verificou-se que a 0,40 m destas, a velocidade do gás ficou na faixa entre 1,50 e 1,53 m/s, para alturas da seção transversal que variaram entre 0,02 m e 0,14 m. Nas velocidades baixas do gás, no mesmo ponto, houve uma variação entre 0,27 e 0,28 m/s. Assim, a distância de 0,40 cm foi escolhida, a partir das velocidades mais altas, pois para as mais baixas, o fluxo equaliza com mais facilidade. Estas medidas foram feitas sem o gás estar sendo recirculado.

Com recirculação, ocorreu um fluxo de gás sem uma variação pontual na velocidade, sendo que quando o gás era descartado, observaram-se pequenas variações na velocidade. Em vazões mais altas, a variação da velocidade do gás na área da seção transversal do túnel, a 0,40 m do conjunto de telas, foi de 0,02 m/s. Em vazões menores, essa variação praticamente não existiu.

3.2.2.5 Termopares

Os termopares utilizados são do tipo “T”, com os quais podem ser medidos a temperatura do ar e a da amostra, sendo que os instrumentos usados para a primeira possuem hastes com um diâmetro de 3,0 mm e para a temperatura da amostra, a haste é mais fina, com 1,5 mm. A calibração dos termopares foi realizada com o auxílio de um banho com água e termômetros de calibração.

3.2.3 Acessórios Externos

Os aparelhos que auxiliaram os experimentos de secagem são: bomba peristáltica e compressor de ar, termoanemômetro, psicrômetro e balança eletrônica.

3.2.3.1 Bomba Peristáltica e Compressor de Ar

Esses dois equipamentos foram utilizados para a injeção de fluidos (líquido + ar) no bico atomizador durante a atomização, já que o bico é de duplo fluido, como já foi citado anteriormente. A bomba peristáltica da marca *Masterflex*[®] (vazão máxima de 3400 mL/min) permite a injeção de líquido a baixas vazões, conforme requerido pelo processo de modificação da atmosfera de secagem, quando o agente modificador é um líquido. O ar comprimido foi injetado por um pequeno compressor de 0,25 HP, da marca *Fanem*[®], o qual não ficou em contato com o túnel de secagem, a fim de evitar vibrações na estrutura do sistema.

3.2.3.2 Termoanemômetro e Psicrômetro

Estes dois medidores são utilizados para medir a velocidade e a umidade relativa do gás de secagem, respectivamente. Os sensores de ambos os medidores são colocados diretamente na corrente de ar, no ponto 19, conforme mostrado na Figura 1. O termoanemômetro é da marca *VelociCheck*[®], mod. 8330, com uma precisão de $\pm 0,05$ m/s, dotado de sonda telescópica. O psicrômetro possui dois (02) sensores de temperatura, um para medir a temperatura de bulbo seco e o outro para medir a temperatura de bulbo úmido, sendo que a leitura da umidade relativa é automaticamente mostrada em seu visor. É da marca *Jenway*, mod. 5105, com uma precisão de $\pm 2,0\%$. No interior do equipamento há um pequeno ventilador, o qual sopra o gás para ser medido pelos dois sensores de temperatura.

3.2.3.3 Balança Eletrônica

O peso da amostra é continuamente medido por uma balança eletrônica da marca *Gehaka*, mod. BG 400 e carga máxima de 404 g, com uma precisão de $\pm 0,001$ g. Ela é dotada de uma porta serial tipo RS-232, a qual faz a conexão com o sistema de aquisição de dados. Possui também um pequeno gancho em sua parte inferior, onde o porta-amostra é acoplado. A fim de se corrigir o erro de medida provocado pela corrente de gás durante o processo, o porta-amostra é pesado vazio (antes de cada experimento) na corrente de gás e depois com a amostra.

3.2.4 Sistema de Aquisição e Controle de Dados

O processo de secagem é monitorado continuamente por um sistema de aquisição de dados, ocorrendo o controle automático de algumas variáveis do processo. Os dados de temperatura do gás e do peso da amostra durante o processo de secagem são recebidos e gravados continuamente, em um intervalo definido. Além disso, a temperatura do gás de secagem é controlada via um sistema elétrico, juntamente com o auxílio do sistema de aquisição. O referido sistema elétrico controla também o acionamento do ventilador

responsável pelo fornecimento do gás, podendo ainda controlar o acionamento de uma lâmpada de halogênio, a qual pode ser colocada próximo à amostra, a fim de iluminar o interior do túnel de secagem.

3.2.4.1 Sistema de Aquisição de Dados

A aquisição de dados de temperatura e do peso da amostra é realizada por um sistema de aquisição da *Strawberry Tree*, composto por uma placa de aquisição, um painel terminal e um *software* de interface (*QuickLog PCTM*), sendo que os dois primeiros fazem parte da instalação física do sistema. A placa de aquisição de dados é do tipo ACPC 16-16, ou seja, possui 16 canais de entrada analógica e 16 canais de entrada/saída digital. O painel terminal faz a conexão entre os sensores e a placa; é do tipo T31, o qual possui 12 canais de entrada/saída digital e 8 canais para entrada de sinais analógicos. O *software* pode trabalhar com os sinais recebidos/enviados via programação (linguagem *BASIC* ou *C*) ou usando diretamente os recursos disponíveis no *software*, no qual pode-se fazer a lógica de funcionamento através de funções de programação já prontas.

3.2.4.2 Sistema Elétrico

As variáveis de processo são controladas com o auxílio de um Controlador Lógico Programável (CLP), conjuntamente com o sistema de aquisição de dados, sendo que o primeiro controla o acionamento das cargas. As cargas controladas que constam no sistema são um número total de oito. Elas constituem-se de: 01 ventilador, responsável pelo fornecimento do ar ou circulação do gás de secagem; 06 resistências elétricas, blindadas e aletadas, responsáveis pelo aquecimento e 01 lâmpada de halogênio, necessária para a iluminação da amostra quando esta for filmada.

Para a referida filmagem, a qual será realizada em trabalhos futuros, em intervalos de tempo previamente determinados, o ventilador é desligado, a lâmpada é acesa e a câmera automaticamente filma a amostra. A lâmpada que iluminará o interior do túnel será de halogênio, com 70 W de potência e tensão de 220 V. Será localizada no interior do túnel,

acoplada à face de cima do túnel, a cerca de 0,10 m após o suporte da amostra, não promovendo nenhuma interferência no fluxo de gás que incidirá sobre a amostra.

O sistema elétrico foi montado com o auxílio de diversos acessórios elétricos, sendo mostrado na Figura 4.

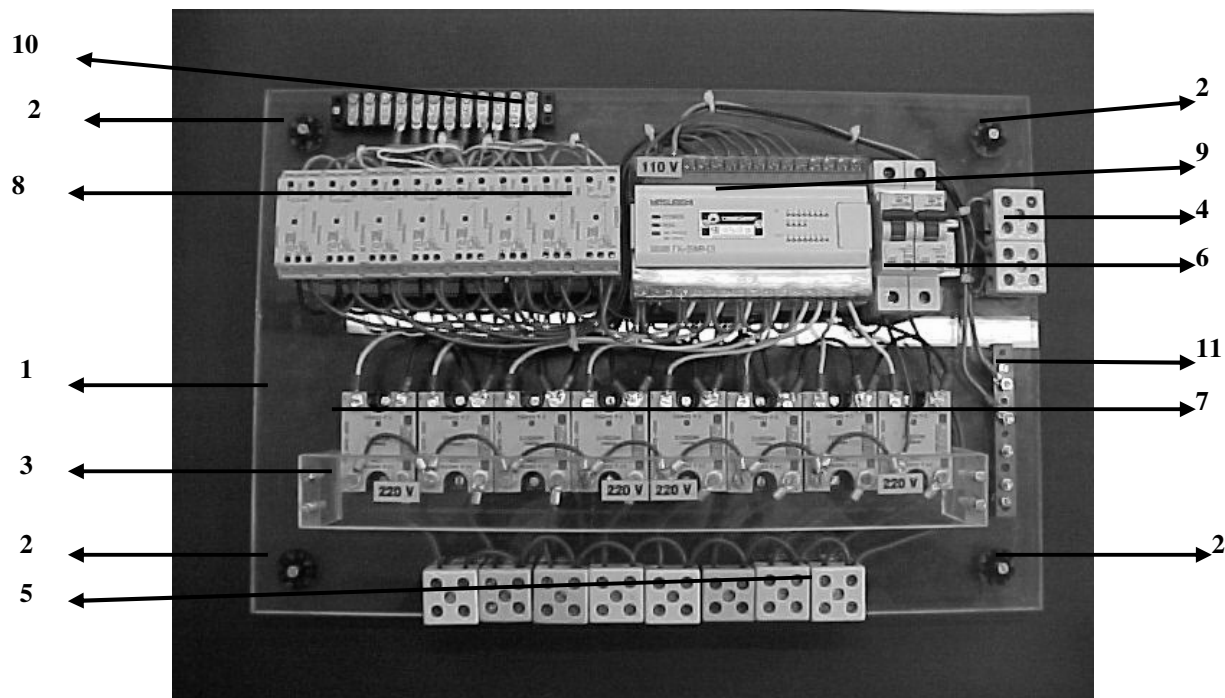


Figura 4. Vista de cima do sistema elétrico utilizado para o controle das cargas no processo de secagem

Conforme pode ser visto na Figura 4, a montagem do sistema elétrico foi um pouco complexa, sendo constituído principalmente dos seguintes aparatos:

- 1- Base de acrílico para o suporte do sistema elétrico.
- 2- Pés do suporte do sistema elétrico.
- 3- Placa de acrílico para isolar os terminais das relês de estado sólido contra o risco de choques elétricos.
- 4- Conectores de porcelana para a alimentação de energia do sistema, sob uma tensão de aproximadamente 110 V cada uma.

- 5- Conectores de porcelana (08 terminais) para a alimentação de energia das cargas.
- 6- Disjuntores para garantir a segurança da operação.
- 7- Relês de estado sólido.
- 8- Fotoacopladores Ópticos.
- 9- Controlador Lógico Programável (CLP).
- 10- Conectores de ligação entre os sinais de entrada/saída oriundos do sistema de aquisição de dados e o Controlador Lógico Programável (CLP).
- 11- Saídas para o aterramento do sistema.

A lógica de controle é constituída basicamente pelo Controlador Lógico Programável (CLP), pelos Relês de Estado Sólido e pelos Fotoacopladores Ópticos, sendo que estes dois últimos são em número de oito, ou seja, um para cada carga. A seguir, destacam-se algumas das características dos referidos acessórios, bem como a sua função dentro da lógica de controle.

3.2.4.2.1 Fotoacopladores Ópticos

Os fotoacopladores ópticos têm a capacidade de fazer a comunicação entre sistemas que trabalham com tensões diferentes. Os utilizados são da marca *Conexel*, com tensão de entrada de até 5,0 V e saída máxima de 60 V (ambas em corrente contínua). A importância desses instrumentos para o trabalho é a de fazer a comunicação entre o Sistema de Aquisição de Dados e o Controlador Lógico Programável (CLP), transformando a tensão oriunda do sistema de aquisição (que pode ser de até 5,0 V) para a tensão de entrada do CLP, a qual é de 24 V.

3.2.4.2.2 Controlador Lógico Programável (CLP)

Tem a função principal de comandar a lógica de funcionamento das cargas presentes no sistema de secagem, que são as resistências elétricas, o ventilador e a lâmpada de halogênio. O referido aparelho é da marca *Mitsubishi Electric* da série FX₀, mod. FX₀-20MR-ES, tendo apenas canais de entrada/saída digitais em um número total de 20.

3.2.4.2.3 Relês de Estado Sólido

As cargas que tem seu sistema de funcionamento controlado são acionadas por chaves eletrônicas, que no caso serão os Relês de Estado Sólido (RES), tendo a função também de proteger o CLP de eventuais curtos-circuitos que possam ocorrer no sistema elétrico. O modelo utilizado é M220 D15, com saída em corrente alternada monofásica de até 15 Ampères e entrada de controle entre 3 a 32 V em corrente contínua. Este tipo de relê foi escolhido por ser um instrumento mais compacto que os relês comuns que existem no mercado, além de melhorar a lógica de acionamento das cargas eliminando a necessidade de uso de outros acessórios como os contadores. Trata-se de um instrumento robusto, diminuindo muito a chance de ocorrer qualquer problema de ordem elétrica no sistema. Vale a pena destacar que para cada carga tem-se um RES e um Fotoacoplador, a qual ocupa uma das saídas do sistema de aquisição de dados e uma das entradas/saídas do CLP. Dessa forma, segundo a lógica de programação e funcionamento adotada, cada uma das resistências elétricas pode ser ligada ou desligada de forma independente uma da outra.

3.3 PORTA-AMOSTRA

O porta-amostra foi desenvolvido em um formato que permite reduzir as variações no fluxo de gás sobre a amostra, conforme sugerido por **Keey (1992)**. Além disso, é interessante que este suporte não oscile devido ao fluxo de gás. Para isso, foi colocada uma placa fina no sentido longitudinal do suporte, funcionando como “um leme de um barco”. O esquema do porta-amostra é apresentado na Figura 5, onde são mostradas as suas vistas, superior e lateral.

A espessura do porta-amostra é de 17 mm, sendo que a profundidade preenchida pela amostra, é de 10 mm. Conforme pode ser observado no esquema da Figura 5, pode-se secar amostras com várias formas: forma redonda (para secar uma rodela inteira de abacaxi sem o miolo ou o sistema-modelo), forma de semi-círculo (para uma rodela ou o gel cortado ao meio) ou forma de “quarto de círculo”. Para se modificar a forma da amostra a ser seca, basta apenas que se coloque moldes no porta-amostra, feitos do mesmo material. Amostras com forma quadrada também podem ser secas; para este caso, foi desenvolvido um outro porta-amostra com as mesmas dimensões do apresentado na Figura 5.

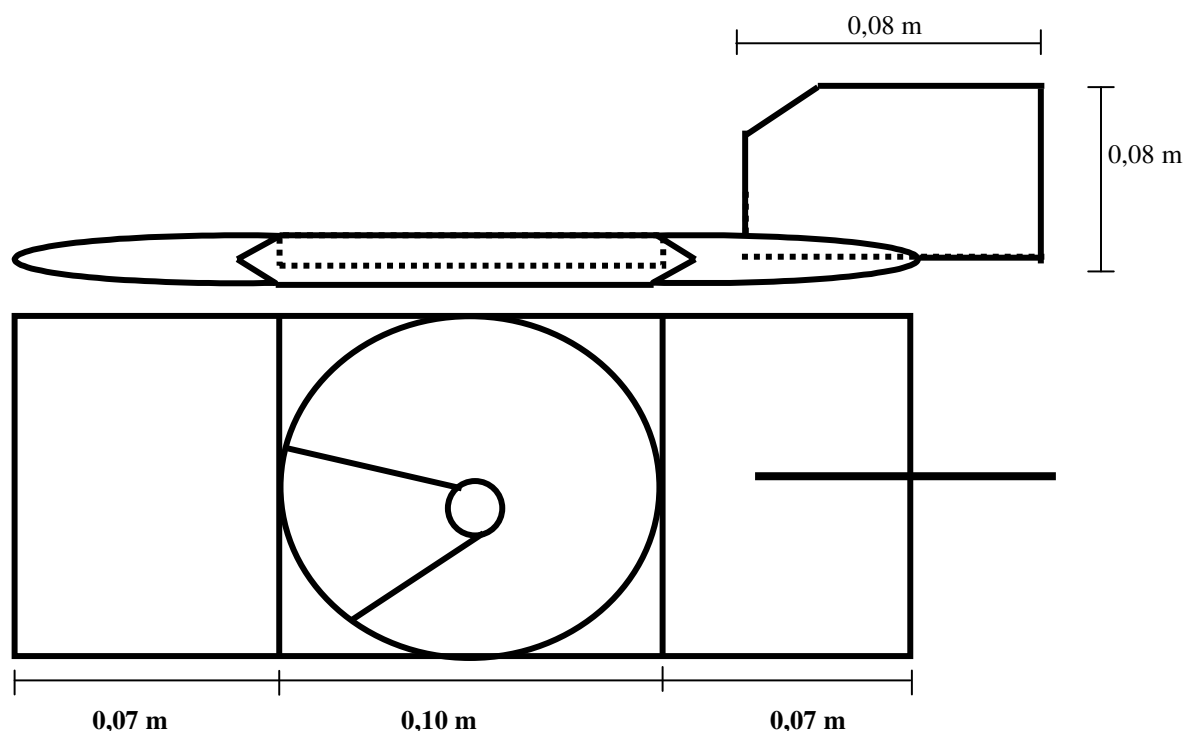


Figura 5. Esquema do porta-amostra para o processo de secagem

A balança eletrônica usada nos experimentos de secagem suporta cargas de até 404 g; por isso, para o porta-amostra proposto, foi escolhido o polipropileno para a sua construção (realizada a partir de placas de polipropileno), pois é um material de baixa densidade. Além disso, o referido polímero é um material atóxico, suporta temperaturas relativamente altas, não absorve umidade e não tem um custo muito elevado. A espessura do referido acessório (17 mm), bem como as dimensões das extremidades inclinadas do suporte (0,07 m) e da chapa fina fixada em uma das extremidades (0,08 m x 0,08 m e 3 mm

de espessura), foram calculadas previamente, de modo que o peso final do suporte não fosse muito elevado, para não ultrapassar a capacidade do sistema de pesagem e nem muito baixo, para não haver o risco de oscilar na corrente de gás, dificultando a estabilização da balança.

Na Figura 6, apresenta-se o referido porta-amostra de seção interna quadrada e na Figura 7, o de seção interna circular, juntamente com os moldes e com o cortador (feito de chapa de aço inoxidável) para amostras circulares. Da maneira como foram desenvolvidos, os referidos acessórios são como se fossem uma bandeja, pela qual o fluxo de gás escoaria paralelamente à sua superfície. Deste modo, o transporte de umidade ocorre na direção perpendicular ao fluxo de gás.

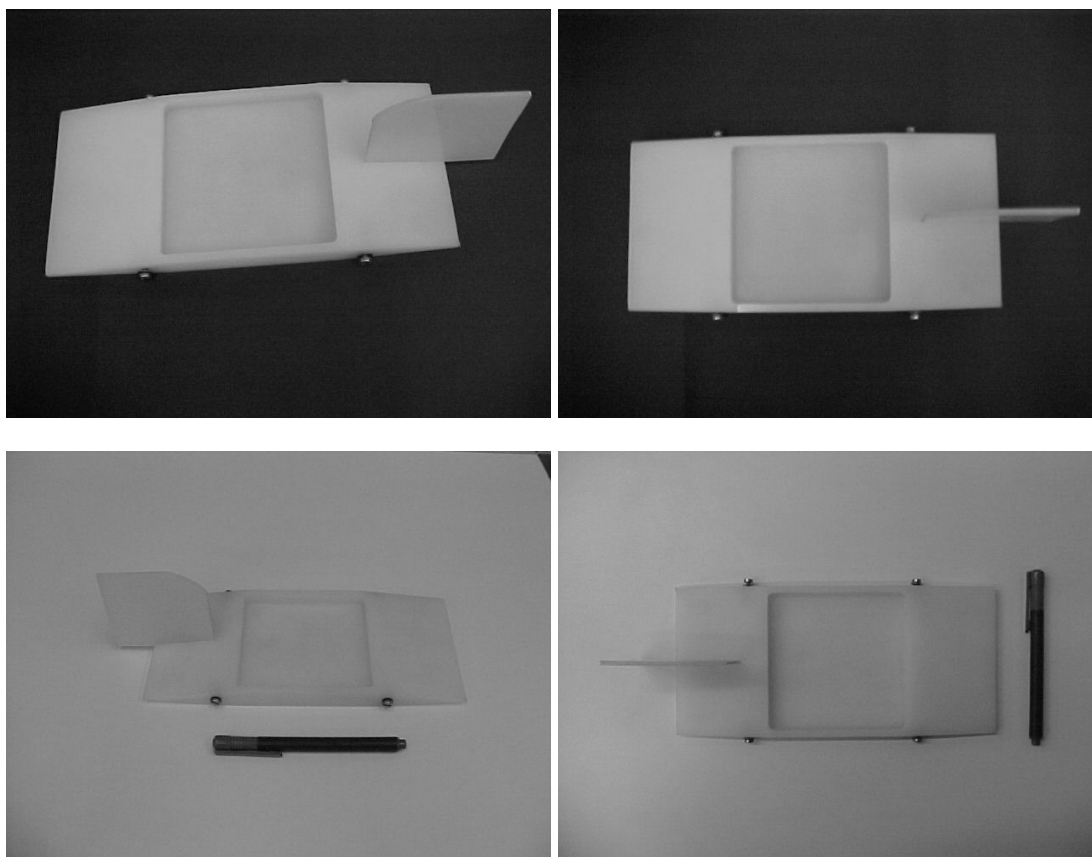


Figura 6. Porta-amostra de seção interna quadrada

O local onde fica a amostra tem dimensões de 10 mm de profundidade, com 0,10 m x 0,10 m (seção interna quadrada) ou de 0,10 m de diâmetro (seção interna circular). Esta última medida foi escolhida a partir da observação e medida do diâmetro de diversas

amostras de fatias de abacaxi, pertencentes à variedade da fruta que será utilizada (*Smooth Cayenne*).

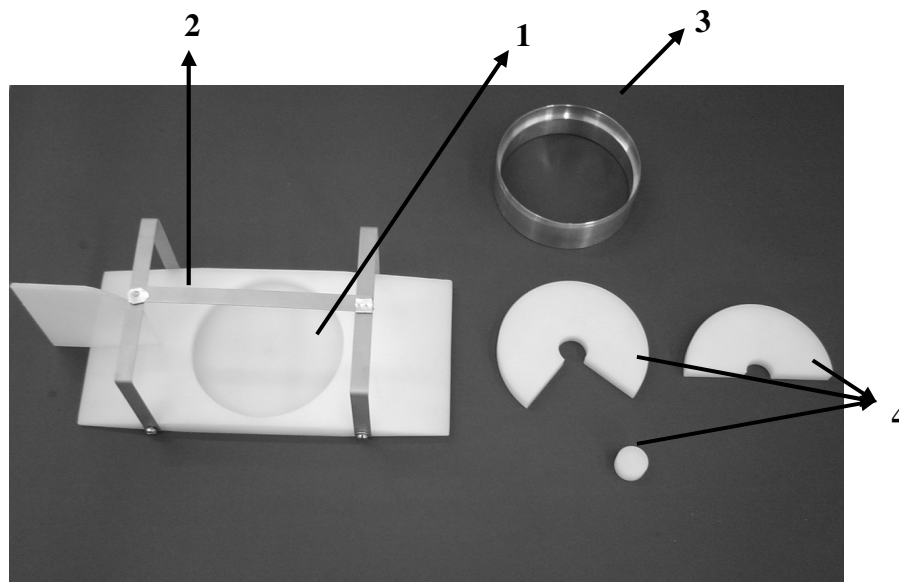


Figura 7. Porta-amostra com seção interna circular, juntamente com vários moldes para esta seção e o cortador utilizado para obter as amostras de formato circular

Na Figura 7 estão indicados os seguintes aparatos:

- 1- Porta-amostra para amostras circulares.
- 2- Suporte do porta-amostra.
- 3- Cortador para amostras redondas.
- 4- Moldes para fatias de abacaxi

O porta-amostra necessita estar conectado à balança eletrônica de uma forma que não influencie a corrente de gás que atinge a amostra. Inicialmente tentou-se segurar o suporte da amostra com um fio de aço inoxidável bem fino. No entanto, devido à sua grande maleabilidade, o conjunto oscilava na corrente de gás. Então, foi desenvolvido um suporte para o porta-amostra, que ao mesmo tempo evita os problemas citados acima, como também não atrapalha o fluxo de gás sobre a superfície da amostra. Além disso, pode-se nivelar de uma maneira precisa o porta-amostra, de modo que a amostra fique com a sua superfície paralela ao fluxo de gás. O suporte foi feito com chapas de aço inoxidável, com

aproximadamente 0,9 mm de espessura. A oscilação da balança na corrente gasosa $\pm 0,010$ g na maior velocidade.

3.4 PARÂMETROS DE PROCESSO

Os principais parâmetros de processo monitorados durante a secagem são: velocidade do gás de secagem, umidade relativa do gás de secagem, temperatura, modificação da atmosfera de secagem e peso da amostra.

3.4.1 Velocidade do Gás de Secagem

A velocidade do gás de secagem é medida diretamente no interior do túnel de secagem, na parte central de sua seção transversal, antes de incidir sobre a amostra, com o auxílio de um termoanemômetro. O aparato experimental foi construído de modo que a referida medida possa também ser realizada em outros pontos do equipamento.

Em testes preliminares no túnel de madeira, verificou-se que a velocidade do gás de secagem pode ser controlada com uma precisão relativamente boa, por meio da variação da abertura da portinhola de entrada do ar no equipamento, quando o gás de secagem não for recirculado. Dessa maneira, pôde-se obter uma ampla faixa de velocidade de gás, com valores pontuais estáveis. Quando o gás de secagem for recirculado, uma boa forma de controlar a sua velocidade é através da injeção ou da retirada de ar do sistema, por meio de um compressor/aspirador de ar, já que o equipamento é dotado de entradas na sua face superior para essa função.

3.4.2 Umidade Relativa do Gás de Secagem

De forma semelhante à velocidade, a umidade relativa do gás de secagem também pode ser determinada diretamente, usando-se o psicrômetro já descrito anteriormente. Quando o gás for recirculado, a umidade relativa pode ser controlada, através do uso de soluções salinas e/ou sílica.

Quando se adicionam vapores de líquido na atmosfera de secagem, tal como o etanol, é necessário controlar a concentração de etanol na corrente de ar que está continuamente em contato com a amostra. Caso o gás de secagem fosse recirculado, haveria a necessidade de um adsorvente (sílica-gel por exemplo) na parte inferior do túnel de secagem, a fim de se poder controlar a umidade relativa do ar. Com o intuito de se verificar a adsorção de vapores de água e etanol em sílica-gel, foram realizados testes em ambiente fechado a temperatura ambiente, com o auxílio de um dessecador contendo sílica. Na parte inferior do dessecador foram colocados 335 g de sílica-gel e na parte superior, uma bandeja com 38 g de água. O mesmo teste foi realizado com etanol (96 °GL), usando as mesmas quantidades de sílica (335 g) e de álcool (38 g). Foi determinada a quantidade de água (ou etanol) adsorvida (o) pela sílica-gel pela pesagem da bandeja em diversos intervalos de tempo. A quantidade de água ou álcool adsorvido foi confirmada por um balanço de massa realizado na sílica-gel, por meio da sua pesagem antes (completamente seca) e após o teste. Foi observado que, após 10 horas em dessecador, aproximadamente 68% e 8% do etanol e da água foram adsorvidos, respectivamente. Sendo assim, pela alta adsorção de etanol pela sílica-gel ficaria difícil controlar a concentração do álcool na corrente de ar, se o gás de secagem fosse recirculado. Assim, o gás deve ser descartado ao se modificar a atmosfera de secagem por adição de substâncias como o etanol.

3.4.3 Temperatura

A temperatura do ar antes de incidir sobre a amostra pode ser medida por três (03) termopares, cujas hastes estão colocadas em três locais distintos: próxima à face superior do túnel, no centro e próxima à face inferior do túnel de secagem. Com isso, pode-se verificar possíveis variações de temperatura ao longo da seção transversal do secador, já que este não possui isolamento térmico externo. A medida da temperatura do ar após ter incidido sobre a amostra é realizada por apenas um termopar, localizado no centro da seção transversal do túnel.

As temperaturas são continuamente medidas com o auxílio de termopares, os quais originam sinais analógicos que são recebidos pelo sistema de aquisição de dados. O controle da temperatura do ar (antes de incidir sobre a amostra) é realizado via sistema lógico programável conjuntamente com o sistema de aquisição. Os dados adquiridos são a

base para o sistema de controle, a partir dos quais os sinais são enviados para o Controlador Lógico Programável (CLP) e este último controla o acionamento de resistências elétricas responsáveis pelo aquecimento do ar. Dependendo da temperatura do ar desejada, o respectivo sinal é enviado ao CLP, o qual por possuir entradas e saídas digitais envia sinais para os relês de estado sólido. Esses sinais indicam se o sistema de aquecimento deve ficar ligado ou desligado.

3.4.4 Modificação da Atmosfera de Secagem

A modificação da atmosfera de secagem pode ser realizada por duas maneiras, dependendo do estado em que o agente modificante se encontrar. Se for um gás (como o nitrogênio, por exemplo) a adição é controlada por uma válvula na entrada no túnel. No entanto, se o agente for líquido (como o etanol, por exemplo), a injeção é um pouco mais complexa, já que o líquido deve ser incorporado ao gás de secagem na forma de vapor ou de pequenas gotículas que ao entrarem em contato com o ar aquecido, evaporem rapidamente. Portanto, conforme já foi falado anteriormente, utiliza-se o bico atomizador de duplo fluido, o qual produz pequenas gotículas de líquido. As gotas produzidas por ele podem ser de diâmetro tão pequeno que podem chegar a 15 μm , dependendo da vazão de líquido a atomizar e da pressão de ar utilizado. Normalmente, quanto menor a vazão de líquido e maior a pressão de ar, menor é o tamanho da gota a ser obtido.

Os limites inferior e superior de explosão do etanol no ar são, respectivamente, 15°C (correspondente à concentração de 4% em volume) e 40°C (correspondente à concentração de 19% v/v) (**Kito-Borsa *et al.*, 1998**). Segundo **Gooding (1983)**, a temperatura mínima para o etanol entrar em ignição é 11°C (correspondente à concentração de 3,3% em volume no ar).

Para o cálculo das vazões de etanol líquido nas faixas de temperatura e velocidade do gás de secagem, considerou-se o vapor do álcool com comportamento ideal nas referidas condições de secagem e a pressão absoluta no interior do secador de 1,0 atm (101,3 kN/m²).

3.5 FAIXAS DE TRABALHO DO EQUIPAMENTO

O equipamento de secagem pode ser operado nas condições descritas a seguir, sendo apresentadas de forma resumida na Tabela 6.

3.5.1 Velocidade do Gás de Secagem

O equipamento pode funcionar com reciclo ou sem reciclo, ou seja, o gás de secagem pode ser recirculado ou descartado, conforme já foi descrito neste capítulo. Se o túnel trabalhar com reciclo ou com descarte na extremidade do equipamento, as faixas de velocidade do gás estão entre 0,25 e 1,20 m/s.

Se for necessário que os gases sejam descartados para o ambiente externo ao laboratório, a fim de que seja evitado qualquer risco de acidente ou problema de segurança no ambiente de trabalho, acopla-se uma tubulação de alumínio corrugado de 0,15 m de diâmetro e 5,1 m de comprimento na saída do túnel. Com isso, há uma perda de carga no sistema, pois o ventilador (item 3.2.2.1) possui uma baixa potência (40 W), então a velocidade máxima de gás fica ao redor de 0,85 m/s, quando a entrada do ar no túnel estiver totalmente aberta. A velocidade mínima de trabalho em que se obtém uma boa precisão de controle é de 0,25 m/s.

Recomenda-se que a diferença entre dois valores de velocidade do gás de secagem não seja inferior a 0,1 m/s, a fim de se ter uma maior precisão na velocidade.

3.5.2 Temperatura do Gás

O túnel de secagem pode funcionar com gás desde a temperatura ambiente até 80°C; a faixa de variação da temperatura deve ser de 10°C, a fim de que se obtenha um controle preciso. As paredes do túnel são constituídas de policarbonato e revestidas por uma fina chapa de polipropileno, sendo que o primeiro possui uma estrutura muito rígida e resistente. Tanto o policarbonato quanto o polipropileno suportam temperaturas relativamente altas (125 e 115°C, respectivamente); no entanto, é interessante que não se

ultrapasse 90°C, a fim de que se garanta a segurança da operação e sejam evitados possíveis danos na estrutura do equipamento.

3.5.3 Modificação da Atmosfera

A composição do agente secante pode ser modificada por líquidos ou gases numa ampla faixa de concentração. Porém, a faixa de trabalho deve estar fora da faixa de ignição das substâncias (quando estas forem inflamáveis, como é o caso do etanol que foi utilizado no presente trabalho), para que se garanta a segurança da operação.

No caso de líquidos, podem ser adicionados desde concentrações muito baixas até um limite de concentração em que ocorra a sua total evaporação na corrente gasosa; tal limite é função da temperatura e velocidade da referida corrente.

Se forem adicionados gases para modificar a atmosfera de secagem, estes podem estar presentes desde baixas concentrações até 100%; como exemplo de gases tem-se o N₂ e o CO₂.

3.5.4 Quantidade de Amostra

Segundo o porta-amostra desenvolvido e a capacidade da balança conectada ao equipamento de secagem (máximo de 404 g), a quantidade máxima de amostra inicial que pode ser seca é de 90 g.

Tabela 6. Faixas de operação do equipamento de secagem em atmosferas normal e modificada

Atmosfera	Velocidade (m/s)	Temperatura (°C)	Quantidade máxima inicial de amostra (g)
Normal	0,25 – 1,20	25 – 80	90
Modificada com até 1,5% (v/v) de etanol	0,25 – 0,85	25 – 80	90

CAPÍTULO 4

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA-MODELO SUBSTITUTIVO **DO ABACAXI**

Em sistemas reais, como é o caso do abacaxi, a composição química das amostras *in natura* provenientes de diferentes frutas é variável, assim como sua matriz sólida que possui um arranjo de grande complexidade. Como a fase líquida presente no abacaxi é composta por uma grande variedade de componentes, a difusão dos voláteis no interior do material é um processo complexo, dificultando muito a compreensão do fenômeno de retenção/remoção de voláteis. Assim, o desenvolvimento de um sistema-modelo de estrutura mais simplificada, cuja composição inicial e concentração de aroma (um único componente) pudessem ser sempre repetidos, permitiria um melhor entendimento do fenômeno de retenção/remoção de voláteis. Além disso, tais dados experimentais poderiam ser utilizados para validar modelos matemáticos de difusão ternária (água e componente de aroma no ar) que viessem a ser desenvolvidos.

Pelas razões descritas acima, previamente à secagem do abacaxi foi utilizado um sistema-modelo nos experimentos de secagem, cuja matriz sólida foi desenvolvida a partir da composição centesimal química do abacaxi (Tabela 7) e da adição de outros compostos. O sistema deveria possuir uma estrutura firme, contendo um dos principais componentes responsáveis pelo aroma característico do abacaxi. Estudou-se o desenvolvimento do referido sistema-modelo, de modo que se comportasse de forma semelhante ao abacaxi durante o processo de secagem convectiva.

Tabela 7. Composição química básica da polpa de abacaxi maduro

Água (%)	85,0
Fibras (celulose) (%)	0,5
Sacarose (%)	9,4
Glicose e Frutose (%)	5,1

Fonte: **Medina *et al.* (1987)**

A partir da composição apresentada na Tabela 7, foram realizados vários testes, a fim de que se encontrasse uma composição que fornecesse uma estrutura firme à matriz sólida. Observa-se na Tabela 7 que o abacaxi é formado basicamente por água, açúcares (mono e dissacarídios) e material fibroso. No entanto, uma formulação que seguisse estritamente a composição química da fruta não seria suficiente para a obtenção dessa estrutura. A alternativa encontrada foi a adição de algum insumo de forma que a estrutura do sistema-modelo se tornasse adequada à realização dos experimentos. Para isso, realizaram-se muitos testes experimentais, a fim de que se obtivesse uma estrutura adequada para a amostra. Nesses testes, estudou-se não somente a composição adequada que o sólido deveria ter, mas também quais as condições que seriam necessárias para obtê-lo.

O sistema-modelo desenvolvido deveria possuir, além de uma composição semelhante à do abacaxi, uma estrutura firme e deveria se comportar de maneira semelhante a esta fruta durante o processo de secagem. O abacaxi é uma fruta que encolhe muito durante esse processo (secagem convectiva), de forma homogênea, não apresentando rachaduras em sua estrutura, por isso, o sistema-modelo a ser obtido, deveria se apresentar como tal.

Após os testes para a obtenção da matriz sólida do sistema-modelo, utilizando-se a adição de insumos como gelatina, pectina, amido e ágar, chegou-se às composições (usando ágar como agente geleificante) apresentadas na Tabela 8. A descrição detalhada do desenvolvimento do sistema-modelo encontra-se em **Morais *et al.* (2005)**.

Tabela 8. Composições da matriz sólida do sistema-modelo (% p/p) contendo ágar como agente geleificante

Componentes	Amostras		
	Sistema Ágar 1	Sistema Ágar 2	Sistema Ágar 3
Água	84,5	85,1	82,6
Celulose microcristalina	0,5	0,4	0,5
Sacarose	9,0	8,4	8,9
Glicose	2,5	2,2	2,5
Frutose	2,5	2,2	2,5
Ágar	1,0	1,7	3,0

O gel foi preparado, misturando-se todos os ingredientes (massa inicial total de 100 g) em um sistema fechado (Figura 8) e aquecendo-o até a temperatura de aproximadamente 97°C, sob agitação semi-vigorosa a vigorosa (200 a 500 rpm), levando um tempo de 10 minutos. Atingida a temperatura, a amostra permaneceu por um tempo de 0 ou 30 minutos imersa em banho-maria e após esse tempo, foi resfriada lentamente à temperatura ambiente, com agitação eventual para uniformizar a temperatura da mistura. No presente estudo, foram utilizados dois agitadores magnéticos com aquecimento; o primeiro, da marca *Onda Científica Ltda*, mod. ON-105, com 600 W de potência; o segundo, da marca *Fisatom*, mod. 753A de 900 W de potência. O calor fornecido pelos equipamentos foi equivalente a 80% da sua capacidade máxima e a 250°C (escala de aquecimento do equipamento entre 0 a 300°C). Com relação à capacidade de agitação dos dois agitadores, a velocidade de agitação do primeiro foi de 20% de sua capacidade máxima e a do segundo, de aproximadamente 220 rpm (correspondendo ao valor “2” da escala do equipamento, numa faixa de 0 a 9).

Ressalta-se que durante o aquecimento da mistura inicial até 97°C, o sistema de fechamento do recipiente deve ser eficiente, a fim de que seja evitado o risco de explosões pelo excesso de pressão no interior do frasco; ou, pode-se acoplar na tampa do recipiente um pequeno tubo (ao redor de 1,0 mm de diâmetro), a fim de permitir o escape de ar. As perdas de água com esse tipo de sistema são inferiores a 0,5% durante a etapa de aquecimento.

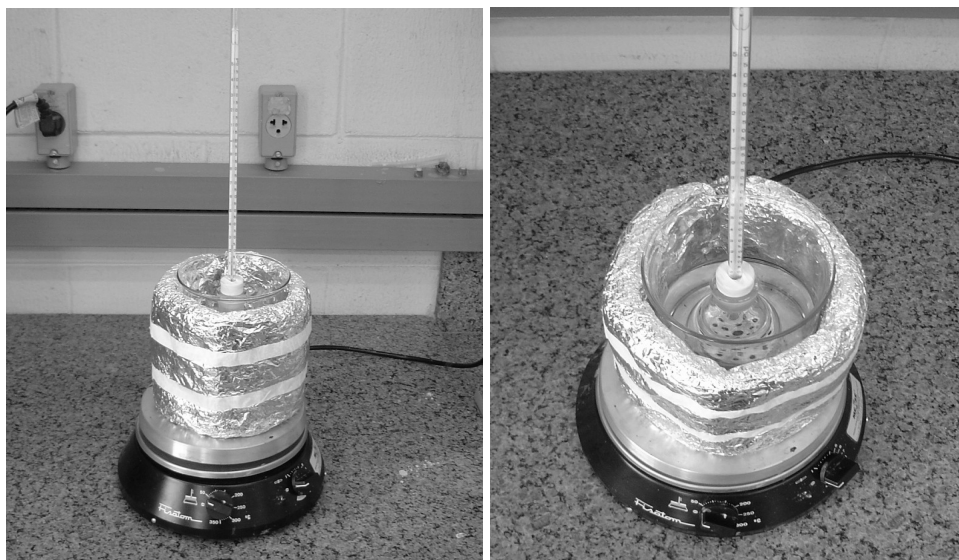


Figura 8. Sistema experimental utilizado para o desenvolvimento do sistema-modelo

No estudo realizado com ágar como agente geleificante, utilizou-se ágar-ágar (*Gelidium cartilagineum*) proveniente da empresa *Onda Científica Ltda.*

Durante o resfriamento das amostras preparadas com o referido insumo, quando a temperatura atingia 50°C, a consistência começava a aumentar; nesse ponto, adicionava-se o composto de aroma, submetendo-se a mistura a uma agitação semi-vigorosa (aproximadamente 200 rpm) por cerca de 1 minuto no frasco hermeticamente fechado. Este procedimento fazia com que houvesse a homogeneização do composto adicionado, bem como auxiliava na dispersão da celulose microcristalina (já que esta última decantava durante o resfriamento), com o aumento gradual da consistência da mistura até sua geleificação (ao redor de 40°C).

O composto de aroma foi incorporado no sistema-modelo na forma de uma solução aquosa (concentração ao redor de 1000 mg aroma/ kg solução), pouco antes da mistura formar o gel (15 mL de solução para cada 100 g de mistura inicial). Quando a solução aquosa era adicionada, a temperatura da mistura diminuía para cerca de 44°C, o que auxiliou a minimizar as perdas do componente de aroma durante a preparação final do gel. Segundo a metodologia empregada, a concentração teórica de aroma no sistema-modelo foi de 129 mg aroma/ kg sistema-modelo.

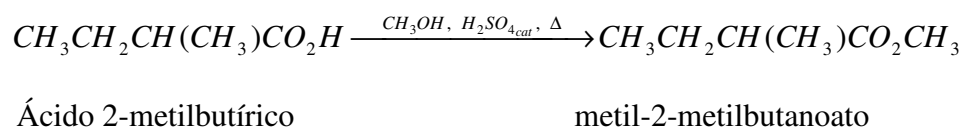
Depois que a mistura foi homogeneizada, ela foi colocada em moldes ainda no estado líquido, a fim de que se obtivesse a forma da amostra a ser seca. Nestes moldes, houve a geleificação da mistura, sendo que esta última ficou em repouso a temperatura ambiente por 15 horas, segundo o que foi sugerido por **Selby e Whistler (1993)**. Para se obter o sistema-modelo com forma circular, a mistura líquida foi adicionada em placas de alumínio com 10 mm de profundidade e 0,11 m de diâmetro, sendo rapidamente coberta com uma tampa de vidro circular de 0,12 m de diâmetro, tomando-se o cuidado para que não houvesse a formação de bolhas na superfície da amostra. Após o repouso, o gel foi cortado pelo cortador mostrado anteriormente na Figura 7.

Cabe ressaltar que dependendo da fonte do ágar-ágar (ou advindos de lotes diferentes), podem ocorrer algumas variações na sua capacidade geleificante, podendo alterar a temperatura de geleificação da mistura formada. Sendo assim, isso deve ser observado e testado previamente em trabalhos que utilizem esse insumo.

Foram realizados testes com o sistema-modelo em estufa com circulação forçada de ar (marca *Quimis*[®], mod. Q-314D) na temperatura de 70°C, por um tempo de até 36

horas, a fim de que se observasse o comportamento do gel nessas condições e se o mesmo não seria desfeito. Nesses testes, as amostras foram acondicionadas em recipientes abertos e em recipientes fechados. Em todas as concentrações de ágar testadas, as amostras apresentaram-se com uma estrutura sólida firme, sem a presença de fissuras ou rachaduras. Sendo assim, dentro da faixa de concentração estudada (1,0 a 3,0% p/p de ágar), as amostras contendo ágar podem ser usadas como um sistema-modelo para secagem de sólidos. Além disso, durante os experimentos prévios de secagem, o sistema-modelo encolheu de maneira uniforme, com a ausência de fissuras ou rachaduras, apresentando um comportamento semelhante ao do abacaxi durante a secagem. Conforme pode ser observado na Tabela 8, os teores de água, celulose e açúcares do sistema-modelo se aproximaram aos do abacaxi (Tabela 7).

Inicialmente, o composto a ser adicionado seria o metil-2-metil-butanoato, um dos componentes de maior impacto no odor da referida fruta (Tabela 5). Segundo a literatura (**Takeoka et al., 1989**), este componente foi considerado como um dos principais responsáveis pelo aroma presente na polpa de abacaxi (*Ananas comosus* [L.] Merr, variedade *Smooth Cayenne*), por apresentar o maior valor de unidades de Odor (Uo = 8316) (definição apresentada no item 2.5.1). No entanto, para adicioná-lo ao sistema-modelo, o mesmo teria que ser produzido em laboratório, já que a solução padrão contendo o referido composto volátil não foi encontrada comercialmente. O metil-2-metil-butanoato seria produzido através de uma reação de esterificação (esterificação de Fisher), sendo que nesta reação, o ácido 2-metilbutírico seria esterificado com metanol, na presença de ácido sulfúrico concentrado, sendo este último utilizado como catalisador (**Carey, 2000**). O esquema da reação é apresentado abaixo.



Entretanto, a reação acima produz isômeros do composto, sendo necessário verificar qual o isômero que seria responsável pelo aroma, pois se pretendia determinar quantitativamente o composto no sistema-modelo após a secagem. No entanto, a forma de determinação de isomeria é bem mais complicada, necessitando-se de um estudo e de um procedimento analítico longo, fugindo um pouco dos objetivos do trabalho.

É comum, em experimentos de análise sensorial, serem utilizados o acetato de etila e o hexanoato de etila como padrões para aroma de abacaxi. O último é preferido por ter um aroma “frutal” intenso, com tom de abacaxi-banana; já o primeiro, tem um aroma semelhante a éter (**Fenaroli, 1971**), quando liberado do abacaxi em estado avançado de amadurecimento. Conforme pode ser observado na Tabela 5, estes dois componentes estão em terceiro e em quarto lugar de importância no aroma da polpa do abacaxi analisado por **Takeoka et al. (1989)** ($U_o = 101$ e 99 , respectivamente). Sendo assim, esses dois compostos foram testados, a fim de serem utilizados como padrão de aroma do sistema-modelo.

4.1 METODOLOGIA PARA EXTRAÇÃO DO COMPONENTE DE AROMA

Após a definição do sistema-modelo, estudou-se qual a melhor forma de extração do componente de aroma da amostra para a posterior análise por cromatografia gasosa.

O composto de aroma, uma vez fazendo parte do sistema-modelo, deve ser extraído em um solvente orgânico, para que sua concentração possa ser determinada pela cromatografia gasosa.

Inicialmente partiu-se da metodologia na extração de voláteis proposta por **Liu et al. (2000)**. Os autores secaram uma gota (volume de $5\ \mu\text{L}$) de uma emulsão contendo maltodextrina, goma arábica e os compostos voláteis d-limoneno, caproato de etila e butirato de etila. Após a secagem, a gota foi colocada em um pequeno recipiente de $0,3\ \text{mL}$ (com um pequeno agitador), contendo $200\ \mu\text{L}$ de hexano e $50\ \mu\text{L}$ de água destilada. A gota seca foi dissolvida e os voláteis remanescentes foram extraídos no hexano. Os tempos requeridos para a extração do d-limoneno e dos ésteres foram de 90 minutos e 30 minutos, respectivamente.

No presente trabalho, a amostra (inicial ou submetida ao processo de secagem) teve que ser fundida integralmente em um recipiente hermeticamente fechado para que o componente de aroma fosse extraído no solvente orgânico, uma vez que o referido componente de aroma poderia não estar homogeneamente distribuído no sólido após a secagem. O solvente escolhido foi o hexano, já que a extração do aroma teve que ser realizada sob aquecimento e esse solvente possui um ponto de ebulição bem acima da temperatura de extração. Logo após a amostra ter sido seca ou após o sistema-modelo ter

sido elaborado, o gel foi cortado em pedaços pequenos e colocado no recipiente juntamente com 20% p/p de água destilada, a fim de auxiliar no processo de fusão. A mistura foi submetida à agitação com aquecimento (realizado pelos agitadores magnéticos utilizados no desenvolvimento do sistema-modelo) por um tempo entre 8 a 14 minutos, dependendo da quantidade de amostra a ser fundida. Após esse período, a temperatura atingiu cerca de 78 - 80°C e a amostra fundiu. O volume máximo ocupado pela fase vapor no interior do frasco durante a fusão foi aproximadamente 20% do volume total, a fim de se minimizar as perdas de aroma. Depois que a amostra fundiu, foi resfriada a temperatura ambiente por 10 a 15 minutos (dependendo da quantidade de material) até que a sua temperatura atingisse 58 a 60°C, sendo rapidamente agitada para a homogeneização da mistura. Por fim, uma alíquota de amostra era submetida à extração do aroma.

Após o sistema-modelo ter sido fundido, foram realizados os testes de extração e detecção do componente volátil presente no gel. Depois de muitos testes de detecção da quantidade mínima do aroma durante a cromatografia, desenvolveu-se a metodologia de extração descrita a seguir.

Uma alíquota ao redor de 4,0 g de amostra na forma líquida (depois de fundida) na temperatura de aproximadamente 55°C, é rapidamente adicionada a 16,0 mL de hexano (grau cromatográfico da marca *Mallinckrodt*) (relação $V_{\text{amostra}}/V_{\text{hexano}} = 1:4$), previamente aquecido a 50°C em banho finito, em um pequeno frasco com volume total de 24,0 mL hermeticamente fechado. Utilizou-se um banho finito da marca *Lab-Line*[®], mod. 3540, de 1150 W de potência; as faixas de operação do referido banho para agitação e temperatura são de 40 a 400 rpm e de 0 a 65°C ($\pm 0,5^\circ\text{C}$), respectivamente. O pré-aquecimento do hexano é essencial, a fim de que a amostra não solidifique instantaneamente ao entrar em contato com este solvente. A amostra é submetida à agitação semi-vigorosa (200 rpm) com aquecimento constante por 4 horas no banho finito, a fim de que se mantenha na temperatura de 50°C, para que o sistema permaneça no estado líquido. Após o processo de extração do aroma no hexano, a amostra decanta e a mistura se apresenta com duas fases separadas, sendo que o solvente (menos denso do que a amostra) é o sobrenadante. Então, retira-se uma alíquota da fase hexano, a qual é injetada em um cromatógrafo gasoso.

Segundo a metodologia de extração descrita acima, a concentração teórica inicial de aroma de 129 mg/ kg sistema-modelo equivale a uma quantidade extraída de aproximadamente 40 mg aroma/ kg hexano.

4.2 DETERMINAÇÃO DOS VOLÁTEIS NO SISTEMA-MODELO POR CROMATOGRAFIA GASOSA

Com a finalidade de desenvolver a metodologia de detecção do componente de aroma em hexano e obter as condições deste processo, realizaram-se diversos testes de cromatografia gasosa.

A cromatografia gasosa foi realizada em um Cromatógrafo Gasoso marca *Varian Star 3600 CX*, com coluna cromatográfica tipo *DB-1* de 0,25 mm de diâmetro interno e 30 m de comprimento, do Laboratório de Recursos Analíticos e de Calibração (LRAC) da FEQ/UNICAMP. A medida do tamanho dos picos neste cromatógrafo pode ser quantificada pela área, altura ou raiz quadrada da altura. No presente item, o tamanho dos picos foi quantificado por unidades de área (“counts” - unidade de medida própria do equipamento).

4.2.1 Testes Preliminares de Cromatografia Gasosa

Os compostos utilizados como padrão de aroma do sistema-modelo, acetato de etila e hexanoato de etila, foram analisados cromatograficamente.

Acetato de etila em concentrações menores do que 50 mg/ kg não pôde ser detectado, já que o tempo de retenção do acetato (12,7 minutos) na coluna cromatográfica era muito próximo ao tempo do pico do solvente. Como a concentração teórica máxima de aroma presente no solvente de extração é de 40 mg/ kg, o acetato de etila não pôde ser utilizado nos testes preliminares.

Nos testes de detecção com o hexanoato de etila, foram acertadas as novas condições cromatográficas e testados os limites de detecção. O pico do aroma apareceu em um tempo de retenção maior (14,5 minutos) do que o do acetato, já que o primeiro composto é menos volátil do que o segundo; dessa maneira, separou-se mais facilmente do pico do solvente, podendo ser utilizado como padrão de aroma.

Fez-se uma curva-padrão para o hexanoato de etila presente nas amostras do sistema-modelo, a fim de que a sua concentração pudesse ser determinada, isto é, para que a área do pico do composto de interesse no cromatograma fosse relacionada com a

concentração na amostra. Para a realização da curva-padrão, injetou-se no cromatógrafo gasoso alíquotas de diversas amostras com concentrações conhecidas, variando de 5,0 até 120 mg/ kg, sendo que dentro dessa faixa, a concentração variou de forma linear com a área dos picos. Na Figura 9 apresenta-se a curva-padrão de hexanoato de etila em hexano.

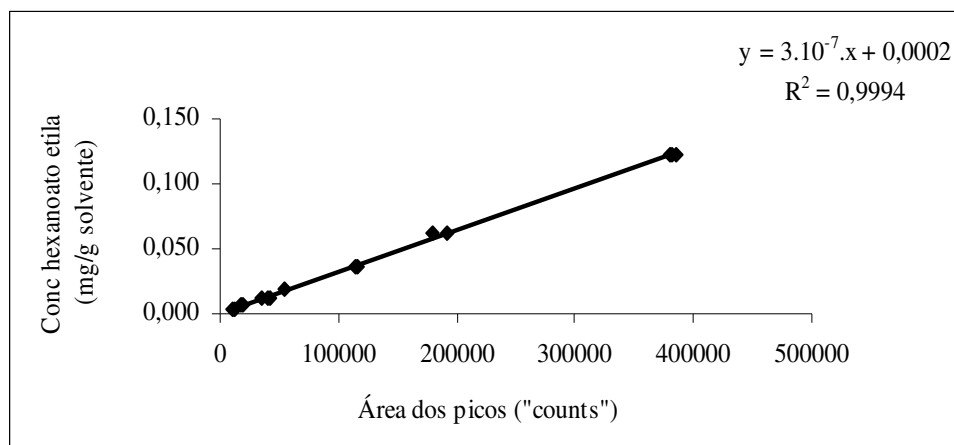


Figura 9. Curva-padrão de hexanoato de etila em hexano

4.3 FORMULAÇÃO FINAL DO SISTEMA-MODELO E PROCEDIMENTO PARA A EXTRAÇÃO DO HEXANOATO DE ETILA

Após os testes preliminares com diferentes formulações da matriz sólida do sistema-modelo composta por ágar como agente geleificante, chegou-se à composição final apresentada na Tabela 9, cujo processo de obtenção é descrito a seguir.

Partindo-se de 100 g de insumos misturados inicialmente, a preparação do sistema-modelo consta das seguintes etapas:

- Mistura inicial dos insumos em recipiente fechado para a elaboração da matriz sólida: água destilada (82,9 g), celulose microcristalina (0,5 g), sacarose (9,6 g), glicose (2,5 g), frutose (2,5 g) e ágar (2,0 g);
- Aquecimento dos insumos misturados acima com agitação semi-vigorosa a vigorosa (200 a 500 rpm) até 97°C em chapa aquecedora com agitador magnético;

- Resfriamento da mistura a temperatura ambiente até 50°C;
- Adição rápida de 15 mL (14,8 g) de solução aquosa de hexanoato de etila (aproximadamente 1000 mg hexanoato/ kg solução) para cada 100 g de mistura inicial de matriz sólida e agitação no recipiente hermeticamente fechado (com agitador magnético) por aproximadamente 1 minuto;
- Adição da mistura ainda líquida (ao redor de 44°C) em moldes para que sejam obtidas as amostras com a forma requerida. Se a forma do sistema-modelo for circular, a mistura é adicionada em placas de alumínio de 10 mm de profundidade e 0,11 m de diâmetro, sendo rapidamente coberta com uma tampa (vidro circular de 0,12 m de diâmetro), tomando-se o cuidado para não deixar bolhas de ar na superfície da mistura;
- Repouso do sistema-modelo à temperatura ambiente por aproximadamente 15 horas.

Após o procedimento descrito acima, a composição final (% p/p) do sistema-modelo é: 85,1% de água, 0,4% de celulose microcristalina, 8,4% de sacarose, 2,2% de glicose, 2,2% de frutose e 1,7% de ágar. A concentração do componente de aroma (hexanoato de etila) é de 129 mg/ kg. A Tabela 9 apresenta essa composição com as respectivas incertezas.

Tabela 9. Composição média do sistema-modelo utilizado durante a secagem em atmosferas normal e modificada

Componentes	Composição Média (g/100 g amostra)*	Incerteza (g/100 g amostra)*
Água	85,1	0,1
Celulose	0,4	< 0,1,
Sacarose	8,4	< 0,1
Glicose	2,2	< 0,1
Frutose	2,2	< 0,1
Ágar	1,7	< 0,1
Hexanoato de etila (mg/ kg)	129	1,0

*Composição percentual exceto para o composto de aroma

A partir dos testes preliminares de determinação da metodologia de extração do hexanoato de etila contido no sistema-modelo, chegou-se ao procedimento final constituído dos seguintes passos:

- Sistema-modelo (seco ou antes da secagem) cortado rapidamente em pequenos pedaços, colocado em um recipiente juntamente com 20% p/p de água destilada e fechado hermeticamente;
- Fusão completa da amostra sob aquecimento e agitação em chapa aquecedora com agitador magnético, o que ocorre quando a temperatura da mistura atinge 78-80°C (tempo de 8-14 minutos, dependendo da quantidade de amostra);
- Resfriamento do líquido a temperatura ambiente, com agitação eventual para a uniformização da temperatura, até que esta atinja 58-60°C (tempo de 10 a 15 minutos);
- Adição de uma alíquota de amostra com aproximadamente 4,0 g (ao redor de 55°C) em 16,0 mL de hexano, previamente aquecido a 50°C e acondicionado em um frasco hermeticamente fechado com volume total de 24 mL;
- Extração do componente de aroma (hexanoato de etila) em hexano por meio de agitação semi-vigorosa (200 rpm) da mistura (amostra + solvente) em um banho finito a 50°C por 4 horas;
- Uma alíquota de solvente é submetida à cromatografia gasosa para a determinação da concentração do hexanoato de etila presente no hexano.

CAPÍTULO 5

METODOLOGIA PARA EXTRAÇÃO E DETERMINAÇÃO DOS VOLÁTEIS DO ABACAXI

5.1 ISOLAMENTO DOS COMPOSTOS VOLÁTEIS DO ABACAXI

Os compostos voláteis do abacaxi *in natura* e submetido ao processo de secagem, foram isolados através da técnica de análise dinâmica do *headspace*. Segundo **Franco (1980)**, a captura de componentes voláteis em uma armadilha de *Porapak Q* por sucção, é um método altamente reprodutível e não altera a composição original da amostra, desde que sejam cuidadosamente escolhidas as condições de captura. O referido sistema também foi sugerido por **Franco e Rodriguez-Amaya (1983)**. Estes autores concluíram que a utilização do sistema de captura composto por *Porapak Q*, com o uso de sucção, é aplicável a amostras complexas como voláteis de frutas. Em função disso, no presente trabalho foi utilizado o polímero poroso *Porapak Q* para a coleta dos voláteis do *headspace*. Na Figura 11 apresenta-se o sistema que foi montado conforme o esquema mostrado na Figura 10.

O sistema de extração apresentado na Figura 11 é constituído basicamente de dois balões de vidro de fundo chato (1000ml) conectados, cada um, a uma armadilha de *Porapak Q*, os quais, por sua vez, foram conectados a um kitassato (contendo sílica gel) e, este último, a uma bomba de vácuo. Deste modo, os compostos voláteis de duas amostras podem ser extraídos simultaneamente. As amostras eram submetidas à agitação, usando-se 2 agitadores magnéticos nos experimentos: um da marca *Fisatom*, mod. 753A (900 W de potência) e o outro da marca *Onda Científica Ltda*, mod. ON-105 (600 W de potência). A velocidade de agitação no primeiro foi de 30% de sua capacidade máxima e a do segundo, de aproximadamente 770 rpm (correspondendo ao valor “7” da escala do equipamento, numa faixa de 0 a 9).

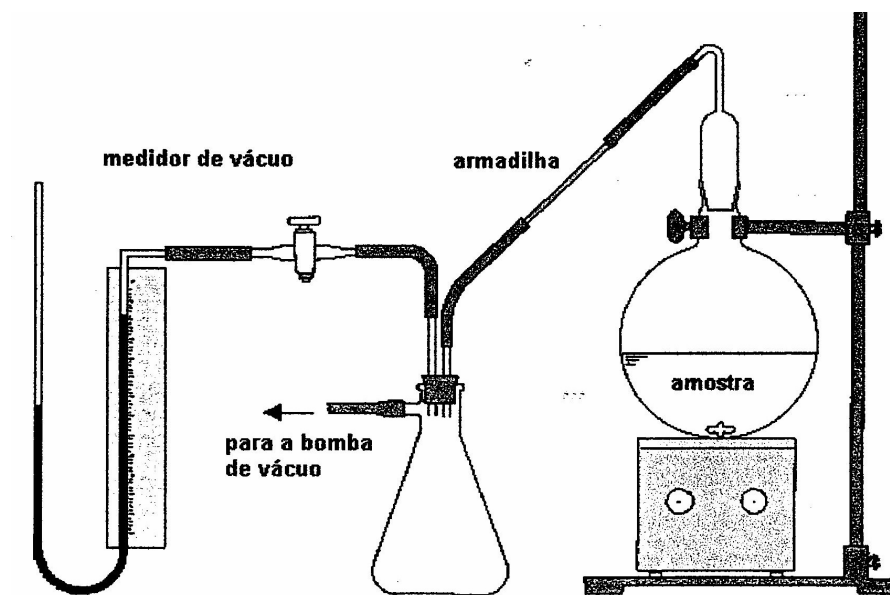


Figura 10. Esquema do sistema de coleta dos voláteis de abacaxi por amostragem dinâmica do headspace



Figura 11. Sistema de extração e coleta dos voláteis de abacaxi montado no Laboratório de Processos Sólido-Fluido

O vácuo foi produzido por uma bomba de 0,25 CV da marca *Quimis*[®], mod. Q335B. As conexões foram feitas por mangueiras de silicone, utilizando-se fita de teflon, a fim de que o sistema permanecesse bem vedado. O uso de sílica gel, presente no kitassato, foi apenas uma forma de proteção à bomba de vácuo com relação à umidade, não tendo influência na captura dos compostos voláteis.

A montagem das armadilhas, bem como o condicionamento das mesmas e as condições utilizadas no processo de extração, são descritas nos itens subseqüentes.

5.1.1 Sistema de Captura de Voláteis

O sistema de captura foi montado a partir de um tubo de vidro Pirex de 4,0 mm de diâmetro interno (0,9 mm de espessura) com 14 cm de comprimento, empacotando-se 60 mg do polímero *Porapak Q* (80-100 mesh) (*Alltech Associates Inc.*) entre mechas de lã de vidro silanizadas (inativação dos sítios ativos), colocadas nas extremidades do tubo. A lã de vidro silanizada foi usada para que se pudesse preencher o tubo com o polímero sem que este fosse perdido. O espaço ocupado pelo polímero poroso no interior do tubo de vidro foi cerca de 4,0 cm e cada mecha de lã de vidro ocupou cerca de 1,0 cm. **Franco (1980)** utilizou como suporte para a armadilha uma coluna de borossilicato de vidro, normalmente utilizada como tubo guia no injetor do cromatógrafo; no entanto, **Takeoka et al. (1989)** em seu estudo sobre a extração de voláteis de abacaxi a partir da técnica de amostragem dinâmica do *headspace* com fluxo de nitrogênio, utilizou um tubo de vidro Pirex para a construção da armadilha. Trabalhos na área de extração de voláteis por *headspace* dinâmico, desenvolvidos no Laboratório de Análise de Alimentos/DCA/FEA/UNICAMP também têm utilizado tubos de vidro deste material como suporte do polímero *Porapak Q*.

Para a extração dos voláteis do aroma do abacaxi foram elaboradas 10 armadilhas, a fim de que se tivesse um número suficiente delas para a realização dos experimentos. Na Figura 12 são visualizadas duas das armadilhas montadas no Laboratório.

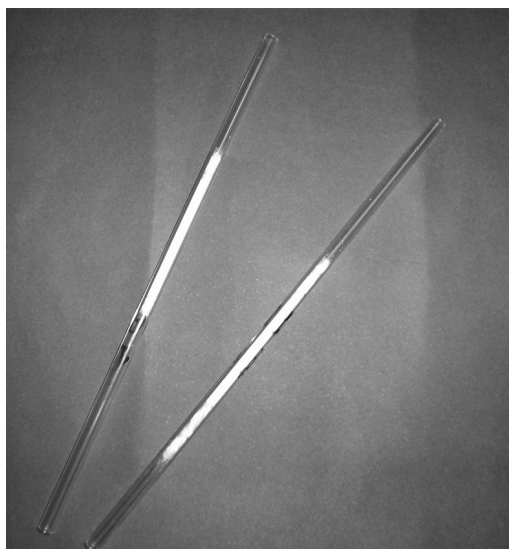


Figura 12. Armadilhas compostas por *Porapak Q* usadas na extração de compostos voláteis

5.1.2 Condicionamento das Armadilhas

Após o empacotamento do polímero *Porapak Q*, promoveu-se o condicionamento das armadilhas, isto é, estas foram submetidas a uma temperatura de aproximadamente 170°C, com escoamento de cerca de 30-40 mL/min de nitrogênio (cód. N-50 da *Air Liquide*) ultrapuro (com 99,999% de pureza) no interior dos tubos empacotados durante 36h. O acondicionamento das armadilhas é necessário a fim de se eliminar possíveis contaminantes e interferentes na análise do aroma do abacaxi.

A reutilização das armadilhas é um procedimento usual no tipo de metodologia de extração que foi utilizada. Após o uso das armadilhas nas extrações realizadas, injeta-se cerca de 1,0 mL de hexano no sistema de captura por 4 vezes, para garantir a remoção completa dos compostos adsorvidos no polímero poroso. Feito isso, as armadilhas são regeneradas como descrito acima por um tempo de 16 horas.

Para que essa parte do procedimento experimental fosse realizada, usou-se uma estufa com circulação forçada de ar da marca *Quimis*[®], mod. Q314M. Através de um orifício existente em sua parte superior, introduziram-se dois tubos de vidro Pirex, onde as armadilhas foram acopladas nas extremidades dos tubos que ficaram dentro da estufa. As extremidades dos tubos de vidro externas à estufa foram conectadas ao cilindro de

nitrogênio ultrapuro por meio de mangueiras de plástico e de silicone. A conexão destas mangueiras com o cilindro deu-se através de uma derivação na linha de saída do nitrogênio, com o auxílio de um “Tê” de plástico. A vazão do fluxo de nitrogênio foi ajustada com o auxílio de um bolhômetro, sendo que este último foi conectado na saída do sistema de captura, logo se pôde condicionar e regenerar duas armadilhas simultaneamente.

5.1.3 Condições do Processo de Extração

As amostras de abacaxi *in natura* (ou desidratado) a serem submetidas ao processo de extração dos voláteis de aroma foram homogeneizadas com cerca de 100 mL de solução de NaCl saturada e 20 mL de água destilada, com o auxílio de um processador (marca *Walita*, mod. Beta de 270 W de potência). A massa de amostra utilizada foi ao redor de 10 g, sendo essa quantidade equivalente à menor massa de abacaxi seco obtida durante o processo (condições mais intensas de secagem: 60°C e 0,84 m/s). Pesquisadores que utilizam esse método de extração, sugerem que a massa das amostras deve ser semelhante, quando forem comparadas diferentes condições de processo, pois a capacidade de extração de aroma do *headspace* é influenciada pela massa da amostra. A extração foi realizada à temperatura ambiente (ao redor de 27°C). **Maarse (1991)** sugere o uso de sais para a prevenção e inibição de transformações enzimáticas que podem degradar compostos voláteis durante a extração. No presente trabalho, optou-se por adicionar uma solução salina saturada nas amostras, a fim de auxiliar na operação de homogeneização. A seguir, as amostras foram colocadas no sistema de extração apresentado na Figura 11.

Após a captura dos voláteis pelo *Porapak Q*, estes foram eluídos por um solvente com o auxílio de uma seringa de vidro, sendo a solução resultante (solvente + voláteis) colocada em um *vial* de 1,8 mL resfriado próximo a 0°C. **Franco (1980)** estudou parâmetros para a determinação das condições ótimas de captura dos voláteis de graviola em *Porapak Q*, tais como: duração da coleta dos voláteis, equilíbrio entre a amostra e o *headspace*, tipo e volume de solvente utilizado na eluição dos compostos voláteis da armadilha e direção da eluição dos voláteis durante a dessorção. Assim, procedeu-se ao estudo dos referidos parâmetros para o caso em estudo.

5.1.3.1 Duração da Coleta dos Voláteis

A determinação do tempo de coleta dos compostos voláteis foi feita a partir de testes de captura em diferentes períodos. **Franco (1980)** e **Thomazini (1998)**, que estudaram os compostos voláteis de frutas, utilizando um vácuo, cuja pressão foi de 0,64 psia (4,41 kN/m²) (vácuo de 14,06 psi ou 96,89 kN/m²). Os autores utilizaram os seguintes tempos de captura: 0,5 h; 1,0 h; 2,0 h e 3,0 h; então, por meio dos cromatogramas obtidos para cada um dos tempos de captura, determinaram a duração da coleta. O principal fator analisado nos cromatogramas para a escolha do tempo ótimo de captura foi o aumento das áreas e/ou modificação dos picos.

Sendo assim, a determinação da duração da coleta dos voláteis no presente trabalho foi feita de maneira semelhante a **Franco (1980)** e **Thomazini (1998)**, porém, o vácuo utilizado foi de 12,57 - 12,96 psi (86,62 - 89,31 kN/m²) devido a limitações do equipamento. Como o vácuo utilizado neste trabalho foi menor do que o utilizado nos trabalhos dos autores citados acima, os tempos de captura testados foram 3,0 h e 4,5 h. No item 5.2.1 são apresentados os resultados desses experimentos.

5.1.3.2 Equilíbrio entre a Amostra e o *Headspace*

Para verificar a necessidade de equilíbrio da amostra antes da coleta dos voláteis, **Franco (1980)** realizou dois procedimentos diferentes: no primeiro, a amostra foi deixada em repouso no balão do sistema de captura durante 30 min, sendo em seguida iniciada a coleta dos voláteis; no outro, a coleta dos voláteis foi iniciada imediatamente após a introdução da amostra no balão do sistema. Os cromatogramas das duas amostras (equilibrada e não equilibrada) foram muito parecidos, indicando que o tempo utilizado (2 h) para o arraste dos voláteis, por sucção sob vácuo de 14,06 psi, permite o equilíbrio dos voláteis durante a coleta.

No presente trabalho, como os compostos voláteis do abacaxi foram extraídos sob um vácuo menor (12,57 - 12,96 psi) do que o utilizado por **Franco (1980)**, foi necessário um tempo maior de coleta; então, não houve a necessidade de um tempo prévio para permitir que a amostra atingisse o equilíbrio.

5.1.3.3 Tipo e Volume de Solvente

Diversos trabalhos que utilizaram a técnica de **Franco e Rodriguez-Amaya (1983)** para o estudo de compostos voláteis de alimentos, definem o solvente a ser usado na eluição dos compostos voláteis a partir de testes experimentais com solventes de polaridades diferentes, fixando-se um tempo de captura. **Bastos (1996)**, **Thomazini (1998)** e **Garruti (2001)** utilizaram acetona e hexano como solventes em seus estudos sobre compostos voláteis de alimentos.

Na eluição dos compostos voláteis do aroma do abacaxi foram utilizados dois tipos diferentes de solventes: hexano (grau cromatográfico da marca *Mallinckrodt*) e éter etílico (grau cromatográfico da marca *Mallinckrodt*). O primeiro foi escolhido por ser um solvente com características apolares e o segundo com polaridade maior. Sendo assim, dependendo das características químicas dos voláteis isolados no polímero poroso, um solvente pode ser mais eficiente do que o outro na operação de eluição. O solvente deve ser escolhido, visando uma maior eficiência nesta etapa do processo, ou seja, para a obtenção de um cromatograma que apresente picos isolados e maiores áreas.

Franco e Rodriguez-Amaya (1983) verificaram que para a quantidade de 60 mg de *Porapak Q* utilizada na construção da armadilha, o volume ideal de solvente para a eluição é de 300 µL. **Garruti (2001)**, **Franco e Shibamoto (2000)**, **Jazantti (1996)** e **Thomazini (1998)** também utilizaram o mesmo volume de solvente para a eluição dos voláteis.

No presente trabalho, foram realizados testes preliminares para se obter o volume de eluição que promovesse solventes mais concentrados com aroma. Foi verificado que o volume ao redor de 300 µL de solvente promoveu uma melhor eluição dos compostos voláteis do abacaxi. A eluição foi realizada com o auxílio de uma seringa de vidro de 5,0 mL, injetando-se o solvente na armadilha; a seguir, injetou-se cerca de 5,0 mL de ar ambiente na armadilha para pressionar a saída do solvente do polímero, completando assim a eluição. A solução resultante (solvente + compostos eluídos) foi simultaneamente recolhida em um *vial* de 1,8 mL e colocada em um freezer para posterior análise por cromatografia gasosa.

5.1.3.4 Direção da Eluição dos Voláteis Durante a Dessorção

Para verificar o efeito da direção de eluição dos voláteis de graviola e mamão durante a etapa de dessorção, **Franco (1980)** testou duas formas distintas de injeção do solvente na armadilha. Na primeira, o solvente foi aplicado no mesmo sentido em que os voláteis foram arrastados através do polímero (dessorção normal). Na segunda, o solvente foi aplicado no sentido inverso ao arraste dos voláteis através do *Porapak Q*. As áreas dos picos dos voláteis obtidos a partir dos cromatogramas foram semelhantes, indicando que quaisquer das duas maneiras de dessorção podem ser usadas. Os pesquisadores que empregam polímeros porosos normalmente usam dessorção reversa, sendo essa a direção da eluição usada no presente estudo.

5.2 DETERMINAÇÃO DOS COMPOSTOS VOLÁTEIS DO AROMA DO ABACAXI *IN NATURA* E SECO

Os isolados obtidos a partir da extração dos voláteis do abacaxi foram analisados por cromatografia gasosa de alta resolução, sendo testadas diversas condições cromatográficas a fim de se obter a melhor metodologia analítica. Utilizou-se nas análises um cromatógrafo da marca *CHROMPACK*, Modelo CP 9001, do Laboratório de Bioaromas da FEA/UNICAMP. A coluna cromatográfica é do tipo *WCOT Fused Sílica*, comumente utilizada em análises de voláteis de frutas, e apresenta as seguintes características: fase estacionária: CPSIL – 5CB; comprimento: 60 m; diâmetro interno: 0,25 mm; diâmetro externo: 0,39 mm.

Foram realizados diversos testes de cromatografia, a fim de serem determinadas as melhores condições analíticas: temperatura inicial da coluna: 40°C; temperatura final da coluna: 210 e 230°C; rampas testadas: 4 e 5 °C/min; temperatura do injetor: 220°C; temperatura do detector: 250°C; pressão na coluna: 140 kPa.

As rampas utilizadas na cromatografia gasosa foram de 4°C/min e 5°C/min. Os cromatogramas analisados demonstraram que a separação dos picos dos voláteis foi semelhante, logo se adotou a rampa de 5°C/min durante os ensaios cromatográficos. A temperatura inicial da coluna foi de 40°C; realizaram-se testes preliminares de

cromatografia com valores de temperatura final da coluna de 210°C e de 230°C. Os resultados demonstraram que na temperatura de 210°C, permaneciam alguns compostos remanescentes após cada ensaio. Logo, a temperatura final da coluna escolhida foi de 230°C.

A quantificação dos componentes de aroma das amostras de abacaxi *in natura* provenientes da mesma fruta foi realizada pela comparação da área dos principais picos fornecidos pelo relatório dos cromatogramas. Quando os resultados a serem analisados eram de amostras com umidades diferentes (fruta *in natura* ou submetida ao processo de secagem), a quantificação do aroma do *headspace* foi realizada a partir da área dos principais picos fornecidos pelos cromatograma por massa de sólido seco. Esse método de cálculo foi adotado, porque a comparação entre amostras com diferentes umidades só é possível sob uma base fixa (massa de sólido seco não varia durante o processo de secagem). No cromatógrafo usado nestas análises, a área dos picos é quantificada pela unidade $\mu V \cdot s$.

A partir dos testes preliminares de determinação do tempo de extração dos voláteis, foi determinado o tipo de solvente utilizado na eluição dos compostos voláteis e a quantidade de amostra injetada no cromatógrafo. Os resultados referentes a tais experimentos são apresentados nos itens 5.2.1 a 5.2.3.

5.2.1 Determinação do Tempo de Extração do Aroma do Abacaxi

Na determinação da duração da coleta do aroma do abacaxi no sistema descrito no item 5.1, os tempos de extração testados foram de 3,0 e 4,5 horas e o solvente utilizado na eluição foi o éter etílico. Nas Tabelas 10 e 11 são apresentados os resultados obtidos nos cromatogramas do aroma extraído de amostras de abacaxi *in natura* em diferentes tempos de extração. Na Figura 13 é apresentada a comparação entre os dois tempos de extração testados.

Conforme pode ser observado na Figura 13, com 3,0 h de extração obteve-se uma maior intensidade de aroma extraído do *headspace* das amostras. Com 4,5 h de extração, a taxa de dessorção dos compostos (provocada pela sucção para a formação do vácuo) é maior do que a taxa de adsorção do aroma no polímero poroso que constitui a armadilha. Por isso, o tempo de 3,0 h foi escolhido para a extração do aroma do *headspace* das amostras de abacaxi *in natura* ou seco.

Tabela 10. Resultados do cromatograma dos compostos voláteis extraídos do abacaxi *in natura*, extraídos por 3,0 horas

Principais Picos	Tempo de retenção (min)	Área do Pico ($10^3 \mu V \cdot s$)
1	13,169	3,01
2	14,794	4,24
3	17,373	4,85
4	17,795	3,68
5	17,926	1,07
6	20,223	3,65
7	21,726	9,41
8	22,542	4,93
9	22,855	6,79
10	23,91	0,89
11	25,353	0,38
12	30,387	1,24
13	33,778	2,14

Tabela 11. Resultados do cromatograma dos compostos voláteis extraídos do abacaxi *in natura*, extraídos por 4,5 horas

Principais Picos	Tempo de retenção (min)	Área do Pico ($10^3 \mu V \cdot s$)
1	13,176	1,55
2	14,805	1,44
3	17,385	2,47
4	17,806	2,54
5	17,937	0,62
6	20,233	2,22
7	21,738	5,96
8	22,55	3,17
9	22,863	4,38
10	23,918	0,87
11	25,353	0,00
12	30,395	0,62
13	33,783	1,89

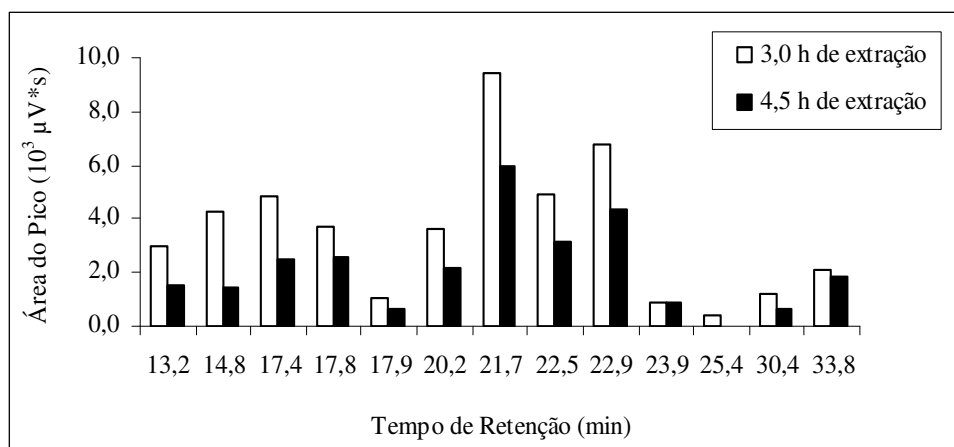


Figura 13. Área dos picos dos principais voláteis extraídos do *headspace* de amostras de abacaxi *in natura*, utilizando-se diferentes tempos de extração

5.2.2 Tipo de Solvente

Na etapa de eluição dos compostos voláteis do aroma do abacaxi *in natura* foram utilizados dois tipos de solventes com polaridades distintas: hexano e éter etílico (mais polar quando comparado com o hexano). Inicialmente foram injetados no cromatógrafo os solventes puros, ou seja, sem voláteis eluídos, para se discriminar seus picos daqueles provenientes dos compostos voláteis. Para comparar a efetividade da eluição dos dois solventes, utilizaram-se voláteis extraídos de uma mesma fruta, o que permitiu a comparação direta da área dos principais picos que apareceram nos cromatogramas utilizando-se cada um dos solventes.

Nas Tabelas 12 e 13 estão apresentados os resultados fornecidos pelos cromatogramas com relação às áreas dos principais picos dos compostos voláteis presentes no abacaxi *in natura*, eluídos por hexano e éter etílico, respectivamente. O volume de solvente injetado no cromatógrafo foi de 3,0 μL e o tempo de extração de 3,0 h.

Pode-se verificar nas Tabelas 12 e 13 que os tempos de retenção dos voláteis na coluna cromatográfica eluídos por hexano e por éter etílico foram semelhantes. Nos cromatogramas, observou-se também um perfil muito semelhante. Isto leva a crer que os dois tipos de solvente extraíram os mesmos compostos, porém em intensidades diferentes.

Tabela 12. Resultados do cromatograma dos compostos voláteis extraídos do abacaxi *in natura*, obtido a partir da eluição por hexano, com injeção de 3,0 µL no cromatógrafo

Principais Picos	Tempo de retenção (min)	Área do Pico (10 ³ µV*s)
1	13,133	0,84
2	14,715	4,14
3	17,285	2,95
4	17,839	1,51
5	21,568	1,19
6	22,481	0,67
7	23,942	1,33
8	25,257	0,31
9	27,438	2,19
10	29,528	1,71
11	33,697	1,17

Tabela 13. Resultados do cromatograma dos compostos voláteis extraídos do abacaxi *in natura*, obtido a partir da eluição por éter etílico, com injeção de 3,0 µL no cromatógrafo

Principais Picos	Tempo de retenção (min)	Área do Pico (10 ³ µV*s)
1	13,141	4,36
2	14,723	21,27
3	17,297	12,89
4	17,849	4,95
5	21,578	6,52
6	22,481	4,39
7	23,952	5,55
8	25,274	1,09
9	27,448	7,80
10	29,537	5,86
11	33,706	5,58

Vale ressaltar que os resultados apresentados na Tabela 13 foram obtidos a partir das mesmas condições cromatográficas com relação aos apresentados na Tabela 10. Porém, a fruta utilizada não foi a mesma, por isso, as áreas dos picos dos componentes do aroma

foram diferentes. No entanto, pode-se observar que os principais compostos extraídos foram praticamente os mesmos, pois os tempos de retenção e o perfil cromatográfico das amostras foram semelhantes.

Na Figura 14 apresenta-se a comparação dos solventes utilizados.

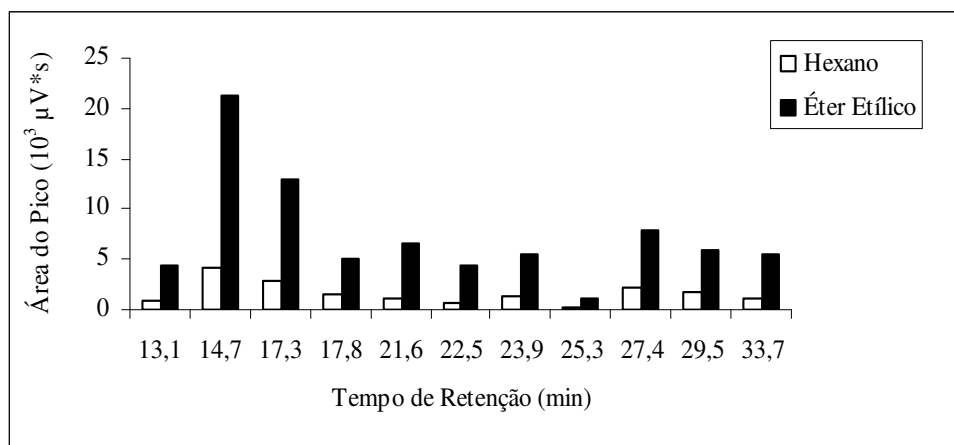


Figura 14. Área dos picos dos principais voláteis extraídos do abacaxi *in natura* eluídos por dois tipos de solvente para um volume de injeção no cromatógrafo de 3,0 μL

Observando-se os resultados apresentados na Figura 14, pode-se verificar a influência do tipo de solvente utilizado na eluição dos compostos do aroma do abacaxi *in natura*. Como a área dos picos está diretamente relacionada com a concentração de um determinado composto, verificou-se que a eluição realizada com o éter etílico promoveu uma maior remoção dos compostos do aroma do abacaxi da armadilha. Essa diferença pode ser justificada pela diferença de polaridade dos solventes e pela afinidade dos compostos de aroma do abacaxi por eles. Estes testes preliminares permitiram observar que a eluição dos compostos do aroma do abacaxi *in natura* ocorre com maior eficiência utilizando-se um solvente com características mais polares. Foi realizada uma análise estatística com os resultados das áreas para os dois solventes, usando um intervalo de confiança de 95%. As diferenças nas áreas dos picos para os dois solventes foram significativas ($p = 0,002$). Assim, o éter etílico foi definido como o solvente a ser utilizado para a eluição dos compostos presentes no abacaxi *in natura* e seco.

5.2.3 Quantidade de Amostra Injetada no Cromatógrafo

Com a finalidade de se verificar a influência da quantidade de amostra injetada no cromatógrafo com relação a área dos picos, testaram-se dois diferentes volumes (1,0 e 3,0 μL) de solução (éter etílico + voláteis) para a injeção no cromatógrafo. Da mesma forma do que no item anterior, a comparação entre os dois volumes de amostra injetadas no cromatógrafo foi realizada através da comparação direta da área dos principais picos.

Na Tabela 14 estão apresentados os resultados obtidos a partir de uma injeção de 1,0 μL de solução.

Tabela 14. Resultados do cromatograma dos compostos voláteis extraídos do abacaxi *in natura*, obtido a partir da eluição por éter etílico, com injeção de 1,0 μL no cromatógrafo

Principais Picos	Tempo de retenção (min)	Área do Pico ($10^3 \mu\text{V}\cdot\text{s}$)
1	13,141	3,07
2	14,723	11,22
3	17,297	6,38
4	17,849	2,51
5	21,578	2,95
6	22,481	3,43
7	23,952	2,72
8	25,274	0,49
9	27,448	3,71
10	29,537	2,78
11	33,706	2,59

Com os dados das Tabelas 13 e 14, é possível comparar os dois diferentes volumes de solvente (éter etílico) injetados. Na Figura 15 apresenta-se esta comparação.

Conforme esperado, um maior volume de solução injetada no cromatógrafo promove um aumento das áreas dos picos do cromatograma. Como o volume de 3,0 μL fornece uma maior área de picos, este deverá ser utilizado nos experimentos (para garantir precisão às medidas), uma vez que na análise do abacaxi seco, a quantidade de voláteis será

inferior à da fruta *in natura*, acarretando menores áreas dos picos. Foi realizada uma análise estatística com os resultados das áreas para os dois volumes de injeção, usando um intervalo de confiança de 95%, resultando em uma diferença significativa ($p = 0,002$). Além disso, volumes muito acima de $3,0 \mu\text{L}$ podem ocasionar problemas na análise, como “inundação” da coluna do cromatógrafo.

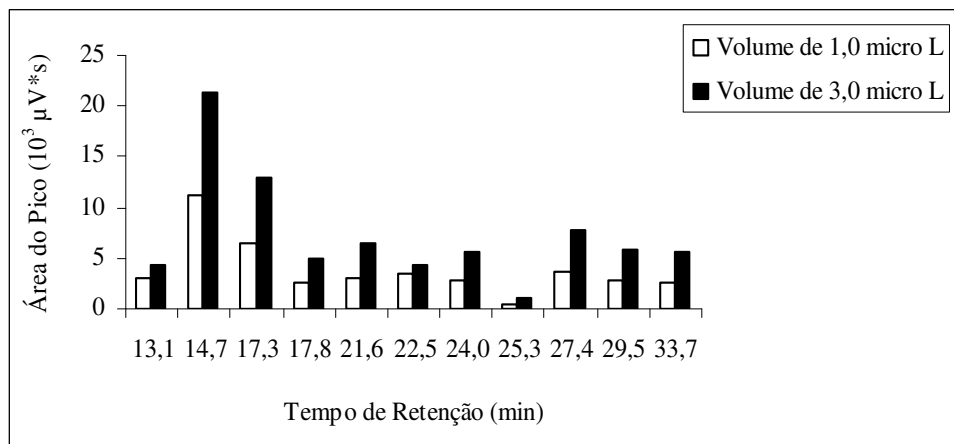


Figura 15. Área dos picos dos compostos voláteis eluídos por éter etílico obtidas a partir de diferentes volumes de injeção no cromatógrafo gasoso

5.2.4 Avaliação dos Voláteis do Abacaxi *in Natura* e Seco

A partir dos parâmetros obtidos acima, realizou-se a extração dos compostos voláteis do abacaxi *in natura* (85% de umidade – base úmida) e seco (sob atmosfera normal, no sistema de secagem desenvolvido no presente trabalho) até dois teores de umidade (74% e 46% - base úmida). O teor mais baixo de umidade foi escolhido de modo que os voláteis pudessem ser detectados pela metodologia analítica desenvolvida, já que a quantidade de amostra submetida à extração é pequena. Já o teor de 74% (base úmida) foi escolhido por ser um valor intermediário. A temperatura do gás de secagem foi de 60°C ($\pm 1^{\circ}\text{C}$), a velocidade do mesmo foi de $0,84 \text{ m/s}$ ($\pm 0,05 \text{ m/s}$) e a umidade relativa foi de 10% ($\pm 2\%$). Nas Tabelas 15, 16 e 17 são apresentados os resultados das áreas dos principais picos por massa de sólido seco.

Tabela 15. Resultados do cromatograma dos compostos voláteis extraídos do abacaxi *in natura* com 85% (base úmida) de umidade, obtido a partir da eluição por éter etílico

Principais Picos	Tempo de retenção (min)	Área do Pico ($10^3 \mu V \cdot s / g$ sólido seco)
1	13,148	1,50
2	14,775	3,57
3	17,356	3,36
4	17,780	2,25
5	17,905	1,79
6	20,205	1,70
7	21,710	5,24
8	22,530	5,02
9	22,838	3,49
10	23,894	2,59
11	25,326	0,68
12	30,369	0,71
13	33,763	1,25

Observou-se que para as amostras secas (Tabelas 16 e 17), até mesmo a níveis de umidade relativamente baixos (46% base úmida), os voláteis extraídos foram praticamente os mesmos, variando apenas a intensidade. Somente o composto cujo tempo de retenção era em torno de 30,369 minutos não foi detectado nas amostras secas. Na Figura 16 estão apresentados as áreas dos picos dos voláteis mais significativos para abacaxi *in natura* e seco, por massa de sólido seco. A relação da área pela massa seca permite que se possa comparar o perfil de aroma de amostras com umidades diferentes.

Pode-se observar a partir da Figura 16 que a secagem a 60°C promoveu uma perda considerável de aroma, principalmente nas primeiras horas de processo. As substâncias relativamente mais voláteis (menor tempo de retenção na coluna cromatográfica) tenderam a ter uma evaporação mais intensa do que as que possuem um tempo de retenção ao redor de 20 minutos.

Pela Figura 16 pode-se observar que a metodologia experimental e analítica mostrou-se adequada para a extração e detecção dos voláteis do abacaxi, tanto *in natura*

como seco. Até mesmo em baixos teores de umidade, os compostos voláteis, embora em quantidades menores, puderam ser detectados.

Tabela 16. Resultados do cromatograma dos compostos voláteis extraídos do abacaxi seco até 74% (base úmida) de umidade (4,0 h de secagem em atmosfera normal), obtido a partir da eluição por éter etílico

Principais Picos	Tempo de retenção (min)	Área do Pico ($10^3 \mu V \cdot s / g$ sólido seco)
1	13,152	0,68
2	14,783	0,39
3	17,362	1,01
4	17,783	0,97
5	17,913	0,60
6	20,208	0,71
7	21,713	1,88
8	22,526	1,19
9	22,838	1,46
10	23,894	1,15
11	25,324	0,53
12	30,369	n. d.
13	33,757	0,35

n. d.: não detectado

O hexanoato de etila, que é um dos principais compostos responsáveis pelo aroma do abacaxi, foi o padrão de aroma utilizado no desenvolvimento do sistema-modelo. Amostras-padrão de hexanoato de etila em éter etílico, em concentrações de 1, 10 e 100 mg/ kg foram injetadas no cromatógrafo gasoso, utilizando-se as mesmas condições cromatográficas da análise do aroma de abacaxi. Esse procedimento foi realizado, a fim de que fosse possível identificar o hexanoato de etila nos cromatogramas de abacaxi, em diferentes concentrações, a partir do seu tempo de retenção na coluna cromatográfica. Pôde-se observar que o pico do hexanoato apareceu no tempo de retenção de 17,3 minutos (temperatura da coluna equivalente a $86^\circ C$) nas diversas concentrações testadas. Comparando este tempo de retenção com os das amostras analisadas até aqui (Tabelas 10 a

17), verificou-se que o hexanoato apareceu em todas as amostras, mostrando que é um dos compostos mais retidos do aroma de abacaxi.

Tabela 17. Resultados do cromatograma dos compostos voláteis extraídos do abacaxi seco até 46% (base úmida) de umidade (11,0 h de secagem em atmosfera normal), obtido a partir da eluição por éter etílico

Principais Picos	Tempo de retenção (min)	Área do Pico ($10^3 \mu V \cdot s / g$ sólido seco)
1	13,140	0,31
2	14,772	0,05
3	17,356	0,41
4	17,777	0,44
5	17,917	0,06
6	20,203	0,31
7	21,710	0,84
8	22,520	0,49
9	22,834	0,66
10	23,891	0,12
11	25,327	0,08
12	30,369	n. d.
13	33,762	0,09

n. d.: não detectado

No trabalho desenvolvido por **Takeoka *et al.* (1989)**, o pico do hexanoato de etila (extraído do *headspace* de amostras de abacaxi, variedade *Smooth Cayenne*) foi identificado quando a temperatura da coluna cromatográfica estava em 64°C (condições cromatográficas: coluna *DB-WAX*, temperatura inicial da coluna de 30°C, permanecendo neste valor por 4 min; depois, rampa de 2°C/min até 180°C). Já no estudo desenvolvido por **Elss *et al.* (2005)**, o hexanoato de etila (proveniente de amostras de sucos de abacaxi *in natura* de diversas variedades e de sucos industrializados de abacaxi) foi identificado com um tempo de retenção ao redor de 10 minutos, quando a temperatura da coluna estava em 78°C (condições cromatográficas: coluna *DB-WAX*, temperatura inicial da coluna de 50°C, permanecendo neste valor por 3 min; depois, rampa de 4°C/min até 180°C). No presente

trabalho, o hexanoato de etila foi identificado quando a temperatura da coluna (tipo *WCOT*) estava ao redor de 86°C. Como as condições cromatográficas foram diferentes, principalmente com relação à rampa utilizada, não se pode fazer comparações da temperatura de identificação do composto. Analisando os três trabalhos, foi verificado que quanto maior o aumento da temperatura da coluna (rampa), maior é a temperatura na qual o componente é identificado.

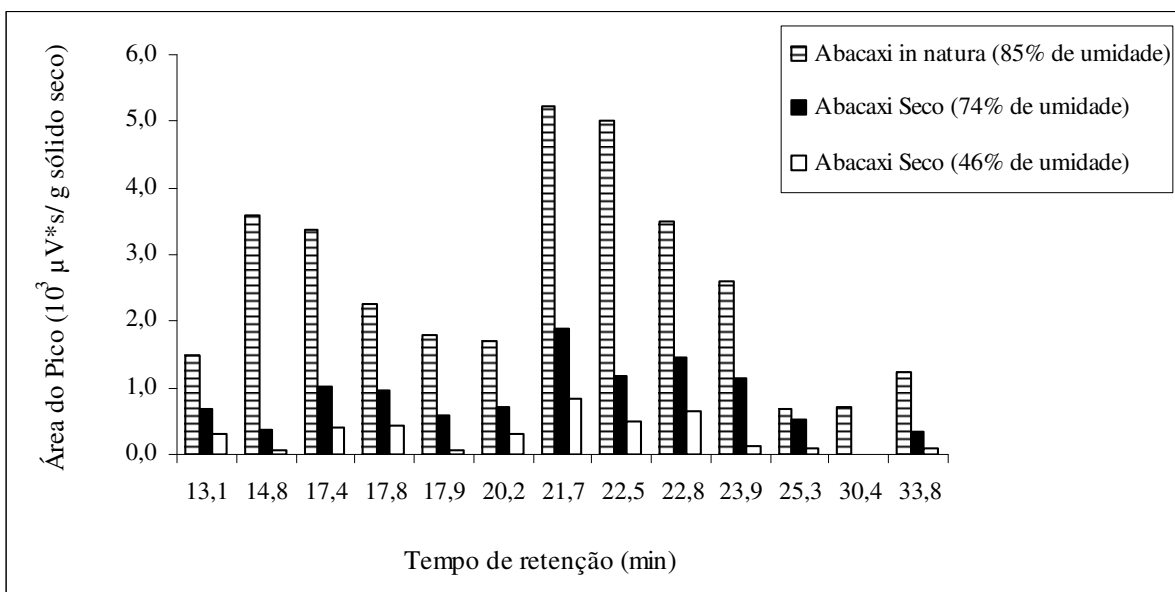


Figura 16. Área dos picos dos compostos voláteis do abacaxi *in natura* e seco eluídos por éter etílico

5.2.5 Procedimento Final da Determinação dos Voláteis de Abacaxi *in Natura* e Seco

Com base nos testes realizados, o procedimento para determinação dos voláteis de abacaxi *in natura* e seco é descrito pelos seguintes passos:

- 10 g de amostra de abacaxi *in natura* ou seca (correspondente à menor massa final de amostra obtida durante o processo de secagem) é homogeneizada em processador com cerca de 100mL de solução de NaCl saturada, à temperatura ambiente;

- A amostra homogeneizada com a solução salina saturada é colocada no recipiente de extração (balão de 1000 mL), juntamente com aproximadamente 20 mL de água destilada proveniente da lavagem das paredes do processador; simultaneamente, as armadilhas previamente condicionadas são acopladas no recipiente de extração, contendo o adsorvente *Porapak Q*;
- O recipiente de extração é conectado a uma bomba de vácuo, sendo que a amostra é continuamente agitada sob agitação vigorosa por agitador magnético (aproximadamente 770 rpm); o processo é mantido por 3,0 horas a um vácuo de 86,6 a 89,3 kN/m² a temperatura ambiente;
- Após realizada a extração, os voláteis adsorvidos na armadilha com *Porapak Q* são eluídos com éter etílico em seringa de vidro, com um volume de aproximadamente 300 µL. Como o solvente (éter etílico) é muito volátil, as perdas ocorrem muito rápido. Assim, após serem extraídos e eluídos, os voláteis devem ser determinados por cromatografia gasosa o mais rápido possível, ou devem ficar armazenados em temperaturas ao redor de -10°C;
- Antes da análise cromatográfica, a amostra é concentrada a aproximadamente 50% do volume inicial para aumentar o limite de detecção. A concentração é realizada a fim de que se aumente o limite de detecção dos compostos do aroma. Esta etapa é realizada rapidamente (10 a 20 segundos), abrindo-se o frasco onde as amostras se encontram e injetando-se uma corrente de nitrogênio ultrapuro (cód. N-50 da *Air Liquide* com 99,999% de pureza) de aproximadamente 700 mL/min, na superfície do *vial*;
- A determinação dos voláteis é realizada pela injeção de 3,0 µL de amostra no cromatógrafo gasoso. Na cromatografia gasosa, a temperatura inicial da coluna é de 40°C e a final é de 230°C, com uma rampa de 5°C/min; recomenda-se deixar a análise em andamento cerca de 10 - 15 minutos a 230°C antes da próxima injeção, a fim de eliminar possíveis compostos remanescentes na coluna do cromatógrafo.

CAPÍTULO 6

SECAGEM DO SISTEMA-MODELO EM ATMOSFERAS NORMAL E MODIFICADA

As amostras do sistema-modelo foram secas em atmosferas normal e modificada com 0,5% v/v de etanol 96 °GL, no sistema de secagem previamente desenvolvido, conforme descrito no capítulo 3 e apresentado na Figura 2.

As amostras de gel foram secas na forma de disco com 100 mm de diâmetro e 10 mm de espessura, sendo colocadas em um porta-amostra, o qual está conectado à uma balança eletrônica ($\pm 0,001$ g) na sua parte inferior, conforme pode ser observado na Figura 2. Para se obter amostras com esta forma, foi utilizado um cortador circular de aço inoxidável. A massa das amostras utilizadas nos experimentos foi de 80 g.

A velocidade do gás de secagem foi de 0,84 m/s ($\pm 0,05$ m/s) e a temperatura foi de 50°C ($\pm 1^\circ\text{C}$). A umidade relativa do gás de secagem em atmosfera normal e em atmosfera modificada foi de $14 \pm 3\%$.

A modificação da atmosfera de secagem foi realizada pela adição de etanol (marca *Chemco*, 96 °GL) no interior do túnel de secagem. Isso foi feito pela atomização do líquido no bico atomizador (marca *Spraying Systems Co*[®]) de duplo fluido a uma pressão de atomização entre 0,70 e 0,75 kgf/cm² (68,6 – 73,5 kN/m²). Nas condições de trabalho utilizadas (gás com 0,84 m/s e 50°C), para que se obtivesse uma concentração de etanol no gás de secagem equivalente a 0,5 % (v/v), a vazão de líquido foi de 17 mL/min. Etanol absoluto não foi utilizado por questões de custo, já que o processo utilizou em média 1,02 L por hora de secagem do sistema-modelo.

Durante os experimentos de secagem do sistema-modelo foi realizado o monitoramento da massa da amostra durante o processo, fornecendo assim a variação do teor de água com o tempo; já a variação do teor do componente de aroma foi determinada por cromatografia gasosa no final da secagem. Uma única amostra foi usada do início ao fim do processo de secagem, para a determinação da variação do teor de água. Já nos experimentos para estudo da variação do teor do componente de aroma, várias amostras

foram utilizadas, da seguinte forma: a amostra 1 foi submetida ao processo de secagem e no tempo t_1 foi retirada para determinação do teor de componente de aroma; a amostra 2 foi submetida ao processo de secagem e retirada no tempo t_2 , sendo $t_2 = t_1 + \Delta t$ e, assim, sucessivamente até se atingir o tempo t_{final} , sendo este idêntico àquele alcançado no experimento de secagem para determinação da variação do teor de água. Paralelamente aos experimentos de secagem, acontece a extração (capítulo 4) do aroma do sólido, a fim de evitar perdas deste para o ambiente.

O acompanhamento da variação do teor de água no sistema-modelo é extremamente importante, pois a partir desses dados, são determinados os melhores períodos de tempo de retirada de amostra para determinação do composto de aroma. No trabalho desenvolvido por **Menting *et al.* (1970)**, utilizando-se um sistema-modelo na forma de fatias de 4,0 mm de espessura, o composto volátil de interesse (acetona) foi perdido quase que exclusivamente durante o período da taxa constante, pois o final desse período praticamente coincidiu com o fim da perda da acetona. Assim, a identificação do período da taxa constante, durante o monitoramento da variação do teor de água do sistema-modelo, fornece indícios do período de tempo, segundo o qual, a maior parte do aroma pode ser perdida.

A umidade das amostras foi determinada pelo método gravimétrico a partir de ensaios de umidade em estufa a vácuo a 70°C, com vácuo entre 93 – 95 kN/m² por 24 horas.

Os tempos de secagem escolhidos foram de 60, 120, 180, 270 e 360 minutos.

Os dados de umidade e aroma foram analisados estatisticamente usando o software *MiniTab*.

6.1 EVAPORAÇÃO DA UMIDADE DURANTE A SECAGEM

Na Figura 17 são apresentadas as curvas da cinética de secagem de amostras de sistema-modelo secas em atmosferas normal e modificada com 0,5% (v/v) de etanol, para o tempo de secagem de 360 minutos. Os dados experimentais são apresentados no Anexo A1.

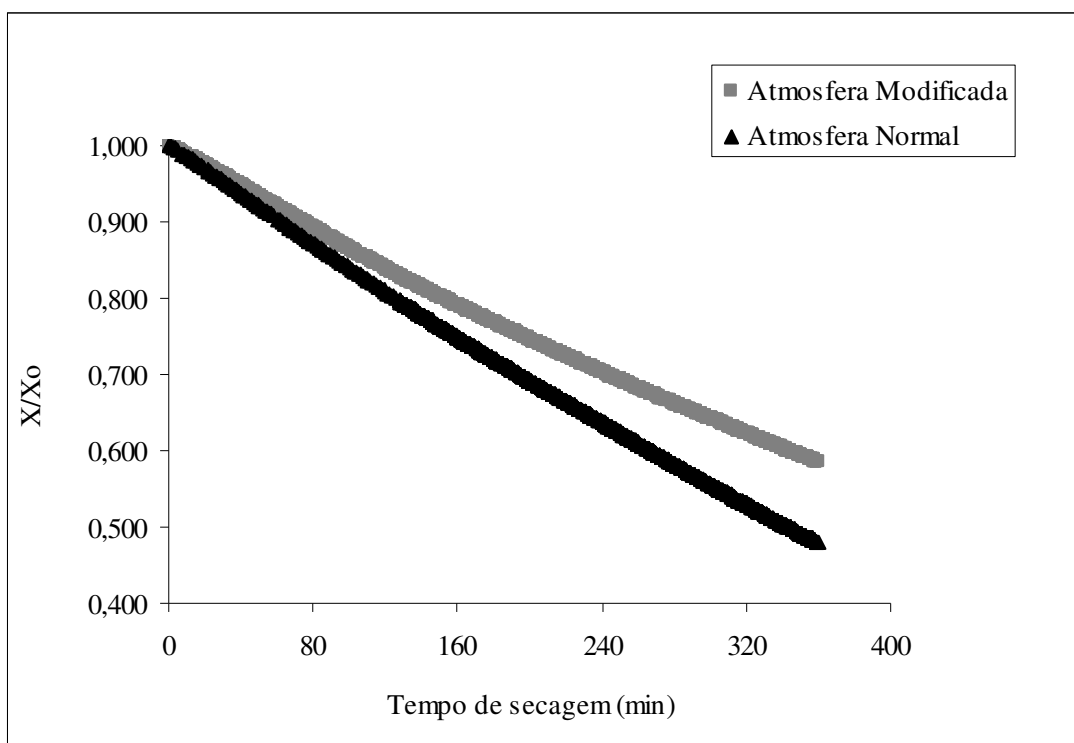


Figura 17. Cinética de secagem (50°C e 0,84 m/s) de amostras do sistema-modelo secas em atmosferas normal e modificada com 0,5% (v/v) de etanol

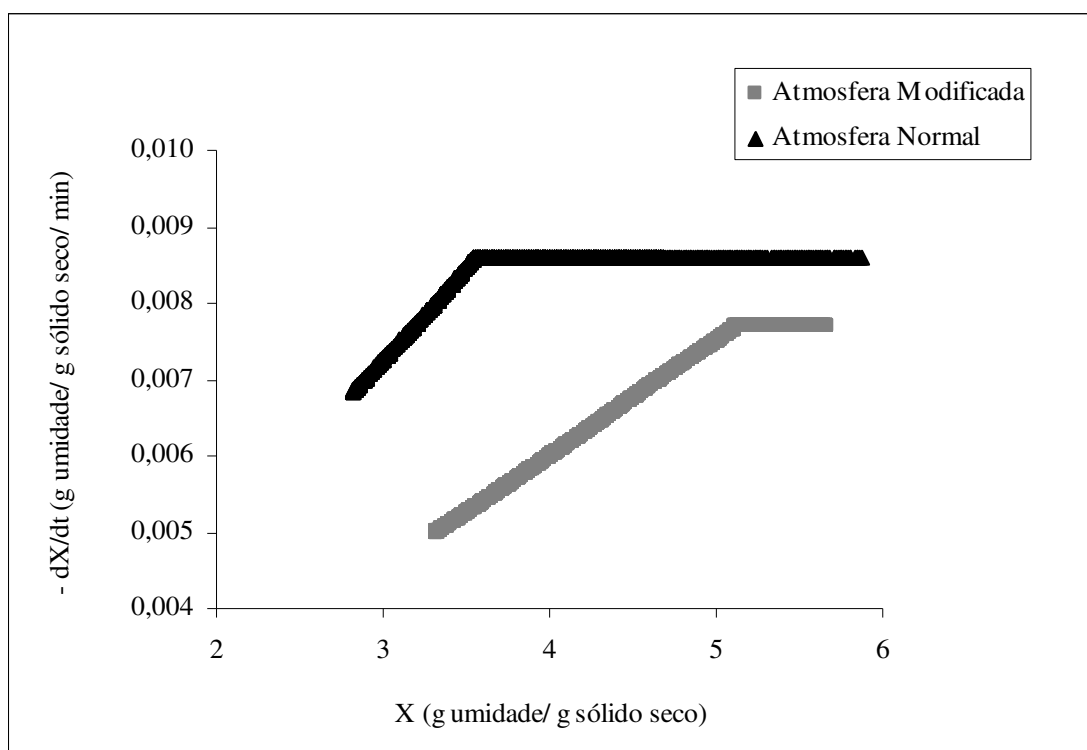
Pode ser observado na Figura 17 que a evaporação de água na secagem em atmosfera modificada é menos intensa do que nos experimentos em atmosfera normal. Alguma parte do etanol deve ter sido adsorvida na superfície da amostra, criando uma fina película na superfície, dificultando assim o transporte de umidade a partir da superfície da amostra.

Foram obtidas as curvas da taxa de secagem para o sistema-modelo a partir da derivação dos dados de cinética de secagem, cuja curva foi dividida em duas seções: um trecho linear e um trecho não linear. A taxa de secagem para o primeiro período foi obtida por uma regressão linear dos dados e para o segundo período (taxa decrescente) uma regressão exponencial. Na Tabela 18 são apresentadas as equações com os seus respectivos coeficientes de ajuste.

Pode-se observar na Tabela 18 que os dados experimentais puderam ser ajustados por uma equação linear e a uma equação exponencial, com altos valores de R^2 . Nas Figuras 18 e 19 são apresentadas as curvas da taxa de secagem do sistema-modelo em atmosfera modificada para o tempo de 360 min.

Tabela 18. Equações utilizadas para a cinética de secagem do sistema-modelo, com os seus respectivos coeficientes de ajuste

Experimento	$X = a + bt$			$X = C \exp(-kt)$		
	a	b	R^2	C	k	R^2
50°C; 0,84 m/s; atmosfera normal	5,7899	- 0,0086	0,9982	6,7591	0,0024	0,9997
50°C; 0,84 m/s; atmosfera modificada	5,6849	- 0,0077	0,9996	5,7088	0,0015	0,9999

**Figura 18.** Curva da taxa de secagem (50°C e 0,84 m/s) de amostras do sistema-modelo secas em atmosferas normal e modificada com 0,5% (v/v) de etanol, em função da umidade

Nas Figuras 18 e 19 pode ser observado claramente que a secagem do sistema-modelo até 360 min ocorre em dois períodos distintos, que são o período da taxa constante e o período da taxa decrescente. A taxa de secagem em atmosfera normal é maior do que em atmosfera modificada com 0,5% de etanol, apresentando uma taxa constante mais elevada e por um tempo maior do que na presença de etanol. O tempo de secagem à taxa constante em atmosfera normal foi de 265 min e em atmosfera modificada de 74 min. A

hipótese da formação de uma crosta na superfície da amostra pela presença de etanol no gás de secagem, explicaria um aumento da resistência à transferência de massa na superfície do gel.

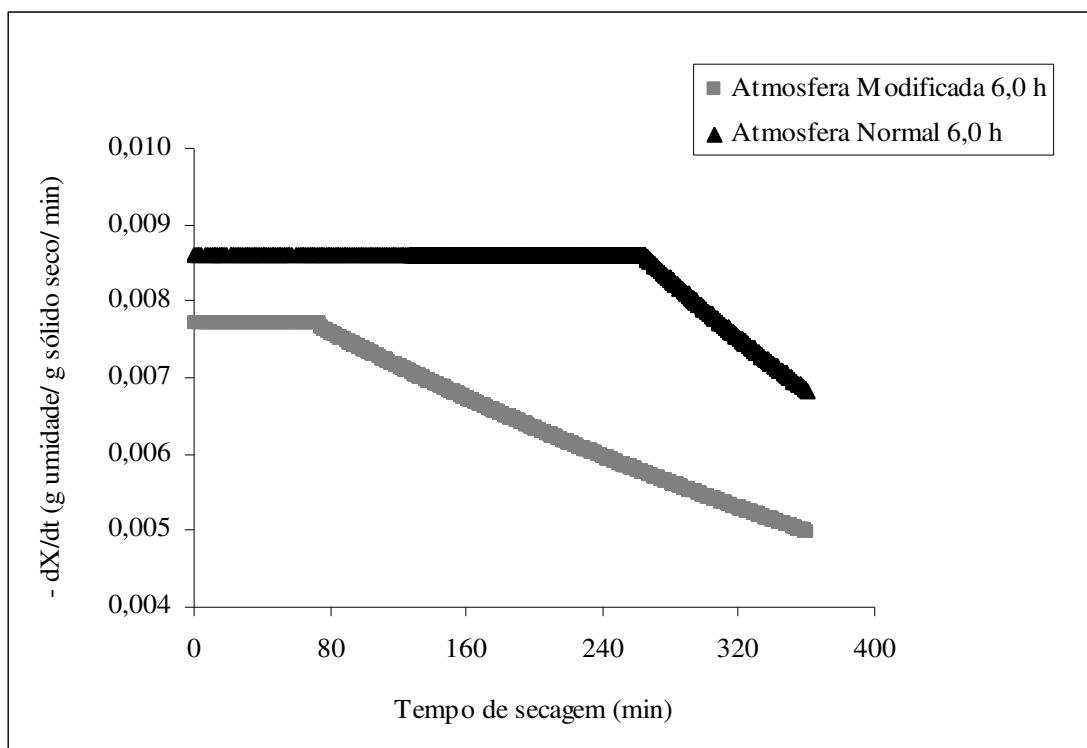


Figura 19. Curva da taxa de secagem (50°C e 0,84 m/s) de amostras do sistema-modelo secas em atmosferas normal e modificada com 0,5% (v/v) de etanol, em função do tempo

A unidade adimensional (X/X_o) foi analisada estatisticamente pelo teste t pareado para diferença de médias (intervalo de confiança de 95%), após cada experimento de secagem, a fim de se verificar a influência da atmosfera de secagem na umidade final. Na Tabela 19 são apresentados os valores da umidade adimensional após cada período de secagem (60 a 360 min) e, na Tabela 20, a respectiva análise estatística.

Foi verificado que valores de umidade adimensional final em atmosferas normal e modificada para um mesmo tempo de secagem são diferentes de maneira significativa ($p \leq 0,05$) para um intervalo de confiança de 95%. Esta análise estatística confirma o que já tinha sido observado nas curvas de cinética e taxa de secagem, ou seja, que a umidade

adimensional em atmosfera modificada é significativamente maior do que em atmosfera normal.

Tabela 19. Umidade adimensional do sistema-modelo seco em atmosferas normal e modificada com 0,5% (v/v) de etanol após cada experimento de secagem (50°C e 0,84 m/s)

Tempo de secagem (min)	X/ X _o atmosfera normal	X/ X _o atmosfera modificada
0	1,0000	1,0000
60	0,9091	0,9235
120	0,8194	0,8417
180	0,7321	0,7716
270	0,6079	0,6635
360	0,4767	0,5874

Tabela 20. Análise estatística para a umidade adimensional do sistema-modelo seco em atmosferas normal e modificada com 0,5% (v/v) de etanol após cada experimento de secagem (50°C e 0,84 m/s)

Experimento	Valor médio	Desvio padrão	Teste t
50°C; 0,84 m/s; atmosfera normal	0,7016	0,1680	p = 0,025
50°C; 0,84 m/s; atmosfera modificada	0,7570	0,1329	

6.2 EVAPORAÇÃO DO COMPONENTE DE AROMA DURANTE A SECAGEM

Após cada período pré-estabelecido de secagem, a amostra foi retirada do secador e submetida ao processo de extração do aroma, para ser analisada por cromatografia gasosa. Na Figura 20 apresenta-se a curva de evaporação do hexanoato de etila nos períodos de secagem entre 60 e 360 min. A cinética de evaporação do aroma foi quantificada pela relação entre concentração de hexanoato de etila no sistema-modelo seco e no sistema-modelo antes da secagem. A referida concentração foi obtida com base na massa de sólido seco das amostras.

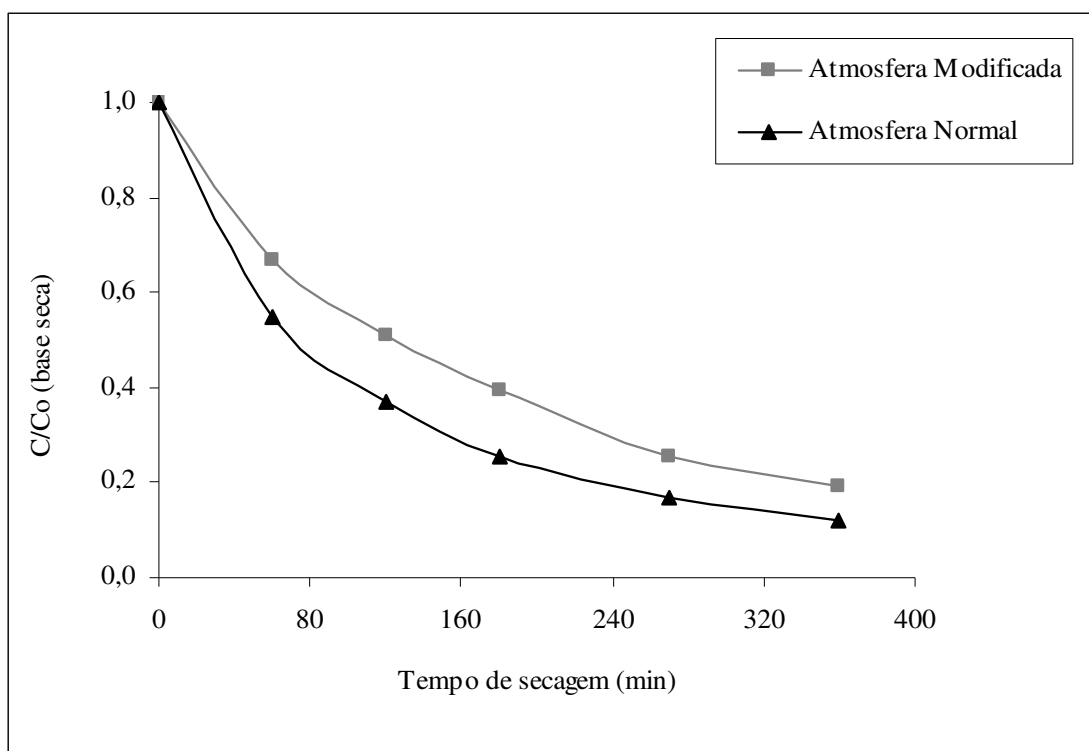


Figura 20. Retenção de aroma (hexanoato de etila) nas amostras de sistema-modelo durante a secagem (50°C e 0,84 m/s), em atmosferas normal e modificada com 0,5% (v/v) de etanol

Durante o período de 60 até 360 minutos, a evaporação do aroma foi menos intensa em atmosfera modificada com etanol do que em atmosfera normal, principalmente entre 60 e 270 min de secagem. A partir desse tempo, a diferença tende a diminuir no decorrer do processo. Embora o período da taxa constante de umidade nos experimentos em atmosfera normal perdure (265 min) por um período bem maior do que em atmosfera modificada (74 min), o comportamento da evaporação do hexanoato de etila é semelhante nos dois casos, sendo diferente apenas em intensidade. Comparando-se a evaporação de umidade e de aroma (Figuras 17 e 20), pode-se perceber que a presença do etanol reduz a perda de aroma e também a evaporação de umidade. Dessa forma, a retenção do aroma não pode ser atribuída apenas à presença do etanol, mas também à menor taxa de evaporação de umidade, pela presença de uma crosta na superfície do gel. Se o processo de secagem for conduzido por tempos maiores além das 6,0 horas, perdas maiores de aroma devem ocorrer, pois após esse tempo a concentração residual (base seca) do hexanoato de etila foi de cerca

de 12% para atmosfera normal e 19% para atmosfera modificada, com relação à concentração inicial.

Foi realizada uma análise estatística (teste de médias - teste t pareado) para a concentração adimensional de aroma, semelhante à que foi feita para a umidade adimensional. Na Tabela 21 são apresentados os valores da referida concentração (base seca) e, na Tabela 22, a respectiva análise estatística.

Tabela 21. Concentração adimensional de aroma (base seca) do sistema-modelo após cada experimento de secagem (50°C e 0,84 m/s) em atmosferas normal e modificada com 0,5% (v/v) de etanol

Tempo de secagem (min)	C/ Co atmosfera normal	C/ Co atmosfera modificada
0	1,0000	1,0000
60	0,5488	0,6667
120	0,3707	0,5096
180	0,2537	0,3964
270	0,1683	0,2558
360	0,1195	0,1944

Tabela 22. Análise estatística para a concentração adimensional de hexanoato de etila (base seca) do sistema-modelo seco em atmosferas normal e modificada com 0,5% (v/v) de etanol

Experimento	Valor médio	Desvio padrão	Teste t
50°C; 0,84 m/s; atmosfera normal	0,2922	0,1722	p = 0,001
50°C; 0,84 m/s; atmosfera modificada	0,4046	0,1911	

No intervalo de confiança de 95%, os valores de concentração final de hexanoato de etila no sistema-modelo seco em atmosfera normal e em atmosfera modificada foram diferentes significativamente ($p \leq 0,05$), confirmando que a presença de 0,5% (v/v) de etanol no gás de secagem (50°C e 0,84 m/s) promove uma menor perda de aroma nas primeiras 6,0 h de secagem.

CAPÍTULO 7

SECAGEM DE ABACAXI EM ATMOSFERAS NORMAL E MODIFICADA

A fruta utilizada nos experimentos de secagem foi o abacaxi (*Ananas comosus* L. Merr), variedade *Smooth Cayenne*, obtido no mercado local, com grau de maturação 3 (cor amarela envolvendo mais da metade da superfície da fruta), conforme a classificação de **Giacomelli (1982)**. A coroa do abacaxi foi eliminada e as amostras submetidas à secagem foram preparadas a partir do corte em rodela da polpa da fruta (parte mais succulenta pertencente à região de diâmetro uniforme), com 5,0 mm de espessura e 100 mm de diâmetro, sendo o miolo central descartado.

A umidade das amostras foi determinada pelo método gravimétrico a partir de ensaios de umidade em estufa a vácuo a 70°C, com vácuo entre 93 – 95 kN/m² por 24 horas. O valor da umidade inicial das frutas submetidas à secagem esteve entre 82 – 83 % (b. u.). O teor de sólidos solúveis da matéria-prima foi determinado por um refratômetro, apresentando um valor entre 11,5 e 13,8 °Brix.

7.1 CONDIÇÕES DE PROCESSO DOS EXPERIMENTOS DE SECAGEM DE ABACAXI

As rodela de abacaxi foram secas em atmosferas normal e modificada com 0,5% v/v de etanol 96 °GL. Após serem obtidas as fatias de abacaxi, elas foram colocadas no porta-amostra apresentado na Figura 7 (Capítulo 3), e os dados de peso da amostra foram registrados de maneira semelhante aos do sistema-modelo.

Os experimentos foram ordenados segundo uma matriz de planejamento experimental fatorial completo, com três variáveis em dois níveis de variação. Os parâmetros estudados foram: temperatura do gás de secagem, velocidade do gás de secagem e concentração de etanol na fase gasosa.

Sendo assim, a ordem dos experimentos é apresentada na Tabela 23.

Tabela 23. Matriz de planejamento experimental dos experimentos de secagem de abacaxi *Smooth Cayenne* em atmosferas normal e modificada

Experimento	Temperatura (°C)	Velocidade do gás (m/s)	Concentração de etanol (% v/v)	Amostra
1	40	0,42	0,0	Fruta 1
2	40	0,42	0,5	Fruta 1
3	60	0,42	0,0	Fruta 2
4	60	0,42	0,5	Fruta 2
5	40	0,84	0,0	Fruta 3
6	40	0,84	0,5	Fruta 3
7	60	0,84	0,0	Fruta 4
8	60	0,84	0,5	Fruta 4

As vazões de etanol líquido para a obtenção de 0,5% (v/v) de etanol na fase gasosa, nas condições de trabalho utilizadas, são apresentadas na Tabela 24. A pressão de atomização do líquido esteve na mesma faixa dos experimentos com o sistema-modelo (0,70 - 0,75 kgf/cm² ou 68,6 – 73,5 kN/m²).

Tabela 24. Vazões de etanol líquido para a modificação da atmosfera de secagem (0,5% (v/v) de etanol) nas faixas testadas de temperatura e velocidade do gás de secagem

Temperatura do gás de secagem (°C)	Velocidade do gás de secagem (m/s)	Vazão de etanol líquido (10 ⁻⁷) (m ³ /s)	Vazão de etanol líquido (mL/min)
40	0,42	1,4	9,0
	0,84	2,9	17,0
60	0,42	1,3	8,0
	0,84	2,7	16,0

O tempo de secagem de cada experimento foi de 11 horas, pois verificou-se, em testes preliminares, que na condição mais intensa de processo (0,84 m/s e 60°C), a umidade

da fruta seca ao final deste período era cerca de 46% (base úmida), podendo haver a detecção dos voláteis pela cromatografia gasosa.

7.2 ENSAIOS DE SECAGEM DE ABACAXI

Para os ensaios de secagem de abacaxi (ordenados segundo a Tabela 23), a umidade relativa do gás de secagem esteve entre $8 \pm 3\%$ (60°C) e $23 \pm 3\%$ (40°C), tanto para atmosfera normal quanto para atmosfera modificada com 0,5% (v/v) de etanol.

Nas Figuras 21, 22 e 23 apresentam-se os dados de secagem de abacaxi em atmosferas normal e modificada com 0,5% (v/v) de etanol, considerando a evaporação de umidade, obtidas pelo peso contínuo da amostra, com velocidade do gás de 0,42 e 0,84 m/s e temperaturas de 40°C e a 60°C. As diferenças observadas de X/X_0 são significativas porque a maior incerteza de todos os experimentos foi de 0,0004, enquanto a incerteza de dX/dt foi de 0,002 g umidade/ g sólido seco/ h para todos os experimentos.

Da mesma forma que para o sistema-modelo, os dados de cinética de secagem foram ajustados por uma regressão linear e uma regressão exponencial, a fim de que as equações obtidas fossem derivadas para a obtenção das taxas de secagem. Pela regressão linear, foi verificada a presença de um período de taxa constante, no início do processo, sendo que a maior parte da secagem ocorreu no período da taxa decrescente. Na Tabela 25 apresentam-se os valores das constantes e dos coeficientes de correlação obtidos nos ajustes linear e não-linear.

Pela Tabela 25 e Figura 22, percebe-se que apenas nos experimentos 1 e 2 (40°C e 0,42 m/s) não foi encontrado o período da taxa constante de secagem. As taxas de secagem a 60°C foram semelhantes, variando muito pouco com a velocidade do gás e com a atmosfera de secagem. Nos experimentos a 40°C é que as diferenças foram mais visíveis. A 40°C na maior velocidade do gás (experimentos 5 e 6), pode-se observar que nos experimentos em atmosfera modificada, a taxa de secagem foi maior em todo o processo. Este comportamento é oposto ao observado no sistema-modelo, no qual a estrutura é diferente do abacaxi, sendo semelhante apenas em composição. Nos experimentos 1 e 2 (40°C e 0,42 m/s), o comportamento foi semelhante ao dos experimentos 5 e 6, no entanto, as taxas tenderam a se aproximar no final do processo. Ainda nos experimentos 1 e 2, o efeito da atmosfera modificada em favorecer uma maior evaporação de umidade foi menos

pronunciado do que nos experimentos 5 e 6. Nos experimentos 7 e 8, maior valor de temperatura (60°C) e velocidade do gás (0,84 m/s), a taxa de secagem em atmosfera modificada foi levemente maior do que em atmosfera normal, tendendo a se igualar no final do processo de secagem; já na menor velocidade (0,42 m/s), a evaporação de umidade em atmosfera normal (experimento 3) foi mais intensa do que em atmosfera modificada com 0,5% (v/v) de etanol (experimento 4) na maior parte da secagem.

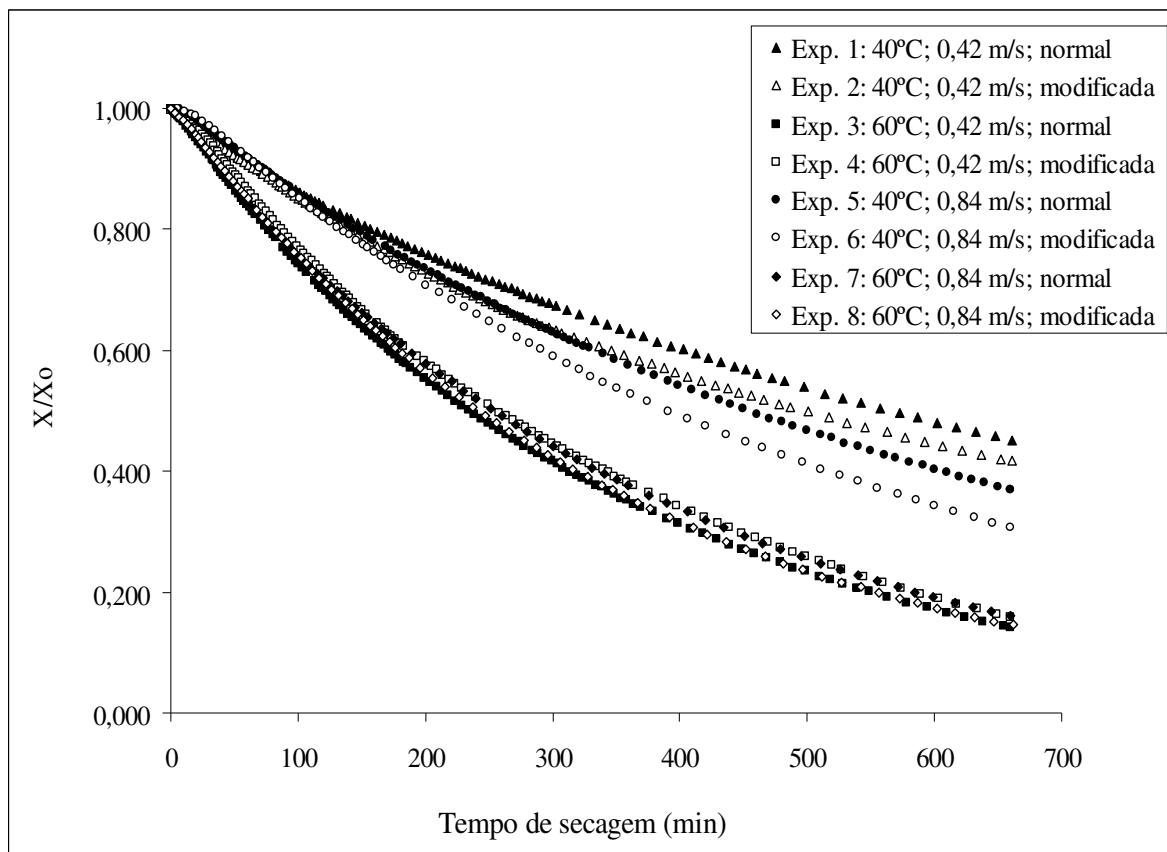


Figura 21. Cinética de secagem de amostras de abacaxi *Smooth Cayenne* secas em atmosferas normal e modificada com 0,5% (v/v) de etanol

Comparando-se os experimentos 1 e 5 ou 2 e 6, verifica-se que o efeito da velocidade do gás se manifesta principalmente na temperatura menor (40°C); o efeito da velocidade é mais pronunciado nos experimentos em atmosfera modificada com 0,5% de etanol.

Tabela 25. Equações utilizadas para o ajuste dos dados experimentais de cinética de secagem de abacaxi, com os seus respectivos coeficientes de ajuste

Experi- mento	Condições	$X = a + bt$			$X = C \exp(-kt)$		
		a	b	R^2	C	k	R^2
1	40°C; 0,42m/s; Normal	-	-	-	4,6336	0,0012	0,9978
2	40°C; 0,42m/s; Modificada	-	-	-	4,6233	0,0014	0,9946
3	60°C; 0,42m/s; Normal	4,9625	- 0,0131	0,9983	4,9455	0,0029	0,9998
4	60°C; 0,42m/s; Modificada	5,0273	- 0,0121	0,9958	5,0343	0,0028	0,9995
5	40°C; 0,84m/s; Normal	4,9031	- 0,0069	0,9988	4,8638	0,0015	0,9997
6	40°C; 0,84m/s; Modificada	4,9499	- 0,0079	0,9948	4,9624	0,0018	0,9999
7	60°C; 0,84m/s; Normal	4,9333	- 0,0123	0,9953	4,9225	0,0027	0,9999
8	60°C; 0,84m/s; Modificada	4,9364	- 0,0124	0,9981	4,9924	0,0029	0,9999

Após cerca de 480 min (8,0 h) de secagem, o valor das taxas de evaporação de umidade tenderam a ficar semelhantes, já que pela diminuição do teor de umidade, a influência da resistência interna à transferência de massa foi maior do que as condições externas.

Os dados experimentais são apresentados no Anexo A2.

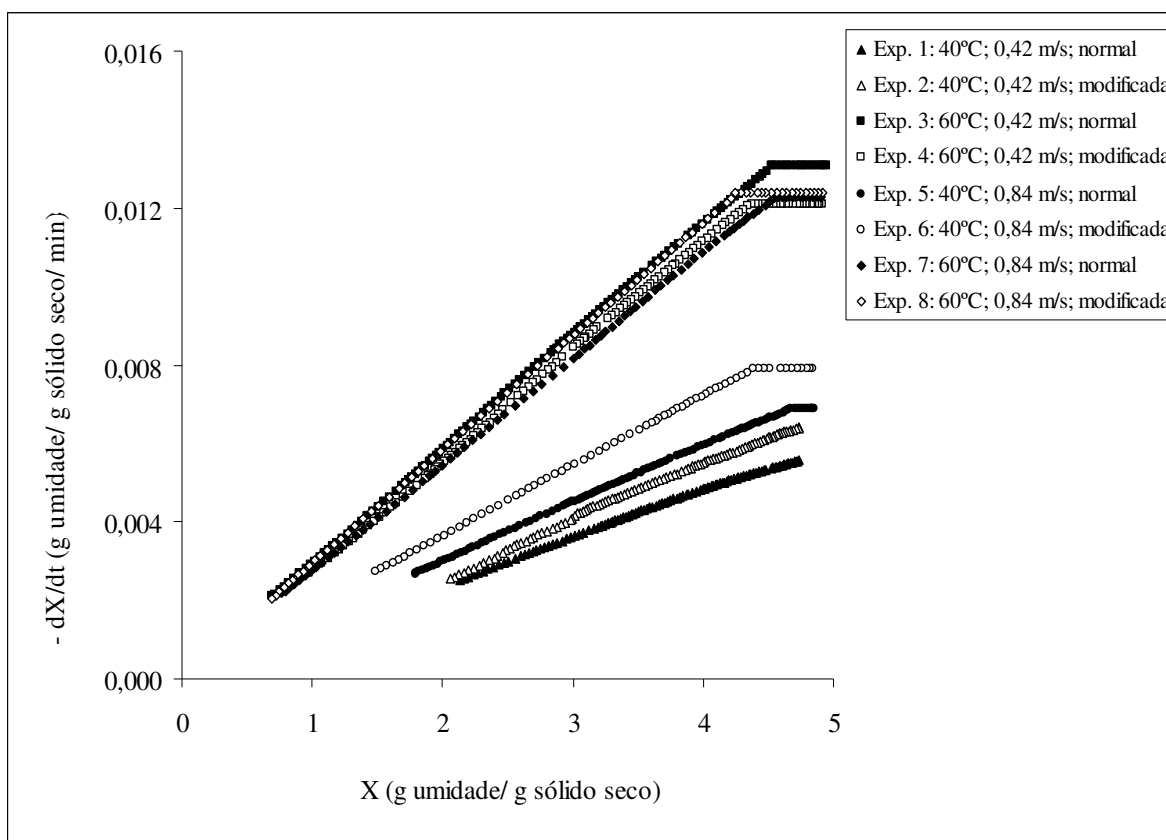


Figura 22. Taxa de secagem de amostras de abacaxi *Smooth Cayenne* secas em atmosferas normal e modificada com 0,5% (v/v) de etanol, em função da umidade

7.3 RESULTADOS DE RETENÇÃO DO AROMA DE ABACAXI

Na Figura 24 são apresentados os resultados de retenção do aroma (obtido conforme a metodologia de extração e determinação dos voláteis do abacaxi *in natura* e seco por cromatografia gasosa, apresentada no Capítulo 5) de abacaxi seco em atmosferas normal e modificada com 0,5% (v/v) de etanol, cujas condições experimentais estão apresentadas na Tabela 23. A quantificação do aroma do abacaxi *in natura* e seco é apresentada, relacionando-se a área total dos principais picos dos voláteis das amostras secas (ATPAS) pela área total dos respectivos picos presentes na amostra (ATPAF); como as umidades são diferentes, para os resultados estarem sempre relacionados com uma base fixa, as áreas dos picos são divididas pela massa de sólido seco presente na amostra. Os picos considerados foram aqueles que apareceram em todas as amostras *in natura*.

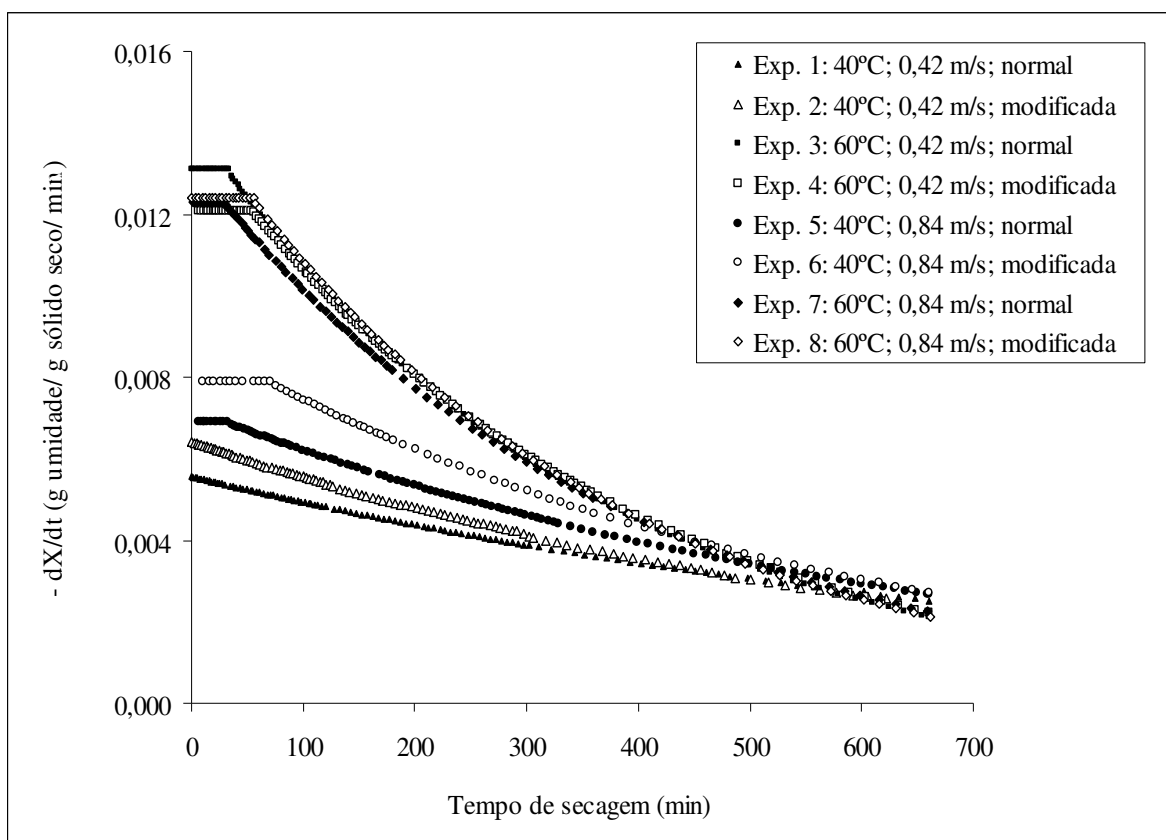


Figura 23. Taxa de secagem de amostras de abacaxi *Smooth Cayenne* secas em atmosferas normal e modificada com 0,5% (v/v) de etanol, em função do tempo

Os cromatogramas obtidos na cromatografia gasosa encontram-se no Anexo A3.

Pode ser observado que a retenção do aroma de abacaxi nos experimentos de secagem em atmosfera normal foi maior do que em atmosfera modificada, sendo que o mesmo foi verificado com a evaporação de umidade (exceto nos experimentos 3 e 4, quando a evaporação de umidade em atmosfera normal foi mais intensa). O efeito da modificação da atmosfera de secagem com 0,5% (v/v) de etanol foi mais pronunciado na menor temperatura e menor velocidade de gás (experimentos 1 e 2). As amostras de abacaxi secas a 60°C tiveram os níveis mais baixos de retenção de aroma, sendo que a quantidade relativa dos principais voláteis retidos esteve entre 4 e 11%. Já na secagem a 40°C, a retenção ficou entre 30 e 54%.

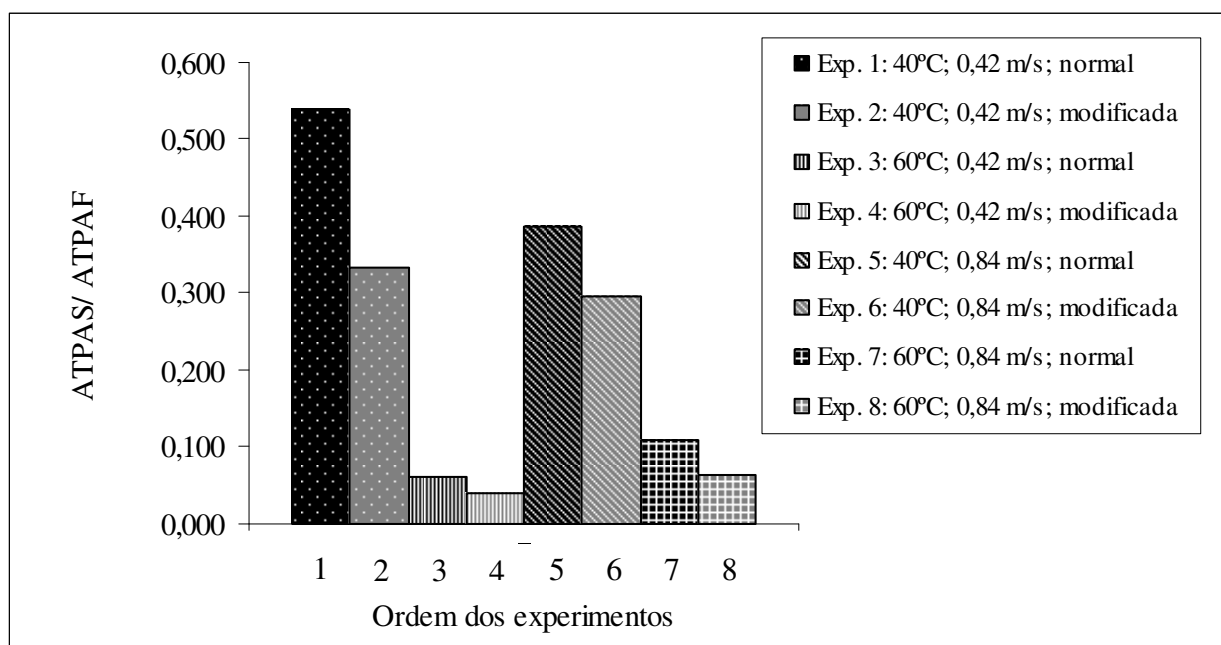


Figura 24. Resultados da retenção do aroma de amostras de abacaxi *Smooth Cayenne* secas em atmosferas normal e modificada com 0,5% (v/v) de etanol

7.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA DO PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

Neste item, são apresentados os resultados do planejamento experimental, a partir dos experimentos de secagem ordenados na Tabela 23. As respostas do planejamento são o valor da taxa de secagem constante (N_c) de cada experimento, a umidade adimensional (X/X_o) e o aroma das amostras após a secagem. Na Tabela 26 apresentam-se os referidos resultados.

A análise estatística foi realizada usando-se o software *MiniTab*.

Na Tabela 27 e nas Figuras 25 a 27 são apresentados os resultados da análise estatística do planejamento experimental. Nesta análise são considerados a influência das variáveis de processo (temperatura, velocidade do gás e concentração de etanol no gás de secagem) sobre as respostas (N_c , X/X_o e ATPAS/ATPAF), considerando a interação entre as variáveis. Os efeitos que forem estatisticamente significativos estarão à direita da reta vertical das Figuras 25 a 27, sendo que esta reta é indicativa do limite de confiança de 95%.

Tabela 26. Resultados da matriz de planejamento experimental dos experimentos de secagem de abacaxi *Smooth Cayenne* em atmosferas normal e modificada com 0,5% (v/v) de etanol

Experi mento	Condições	Nc (g umidade/ g sólido seco/ min)	X/Xo	ATPAS/ ATPAF
1	40°C; 0,42m/s; Normal	0,0000	0,4512	0,5376
2	40°C; 0,42m/s; Modificada	0,0000	0,4167	0,3345
3	60°C; 0,42m/s; Normal	0,0131	0,1404	0,0609
4	60°C; 0,42m/s; Modificada	0,0121	0,1573	0,0407
5	40°C; 0,84m/s; Normal	0,0069	0,3690	0,3861
6	40°C; 0,84m/s; Modificada	0,0079	0,3066	0,2966
7	60°C; 0,84m/s; Normal	0,0123	0,1610	0,1093
8	60°C; 0,84m/s; Modificada	0,0124	0,1459	0,0651

Tabela 27. Efeitos estimados dos parâmetros sobre a taxa de secagem constante, a umidade adimensional e a área total relativa dos principais picos dos voláteis do aroma do abacaxi *Smooth Cayenne* seco em atmosferas normal e modificada com 0,5% (v/v) de etanol

Parâmetro	Valor do Efeito		
	Nc	X/Xo	ATPAS/ ATPAF
A: Temperatura (°C)	0,0088	- 0,2347	- 0,3197
B: Velocidade do gás (m/s)	0,0036	- 0,0458	- 0,0292
C: Concentração de etanol (% v/v)	< 0,0001	- 0,0238	- 0,0892
A:B	- 0,0038	0,0504	0,0655
A:C	-0,0005	0,0247	0,0570
B:C	0,0005	- 0,0150	0,0224
A:B:C	< 0,0001	- 0,0010	- 0,0344

Na Figura 25 pode-se observar que tanto a temperatura quanto a velocidade do gás tiveram influência significativa (nível de confiança de 95%) na variação da taxa de secagem constante. Pela Tabela 27, pode-se observar que os efeitos dessas variáveis têm sinal positivo, indicando que quando a temperatura aumenta de 40 para 60°C ou a velocidade do gás aumenta de 0,42 para 0,84 m/s, a taxa de secagem constante aumenta, sendo um comportamento esperado. A interação dessas variáveis teve também uma influência significativa, indicando que o comportamento da resposta depende de qual dos níveis em que o processo ocorre. A influência da concentração de etanol sobre a taxa de secagem constante poderia ser melhor observada se o nível de variação fosse maior.

Pelas Figuras 26 e 27, somente a temperatura possui influência significativa sobre a umidade adimensional e a área total relativa dos principais picos dos voláteis do aroma do abacaxi seco, indicando que talvez o nível de variação da temperatura seja elevado, comparando-se com os níveis da velocidade do gás de secagem e da concentração de etanol.

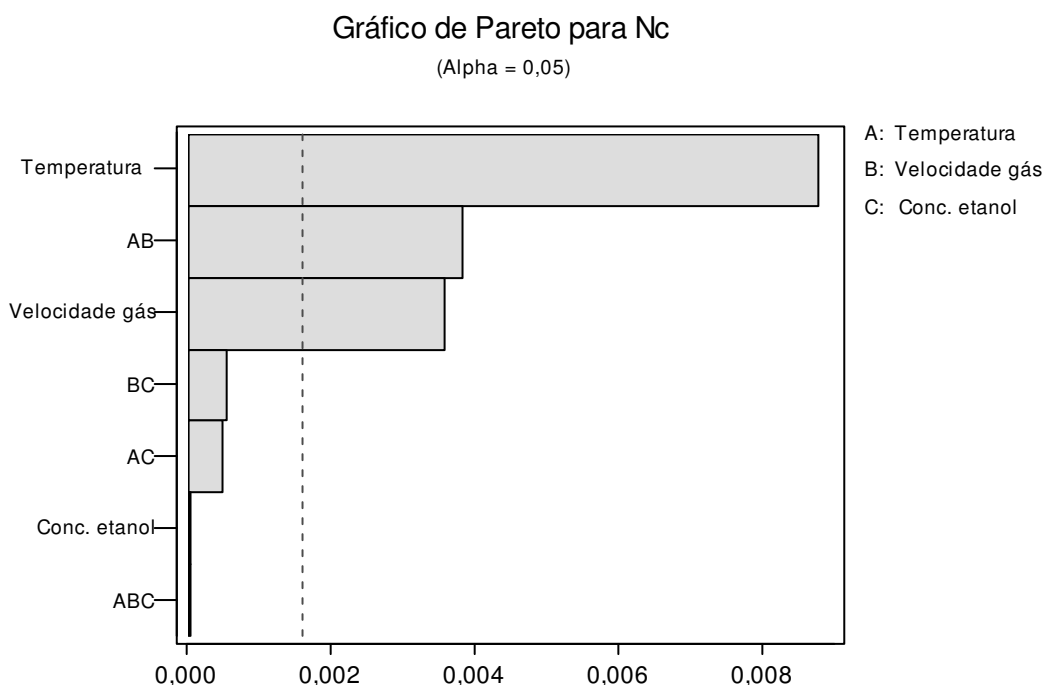


Figura 25. Gráfico de Pareto para a taxa de secagem constante (Nc) de amostras de abacaxi *Smooth Cayenne* secas em atmosferas normal e modificada com 0,5% (v/v) de etanol

Pelas Figuras 26 e 27 e pelo valor dos efeitos apresentados na Tabela 27, observa-se que a modificação da atmosfera de secagem com etanol influenciou (embora de maneira não significativa no intervalo de confiança usado) na retenção do aroma do abacaxi, de modo a diminuir o valor da resposta; o mesmo ocorrendo com a umidade adimensional, conforme havia sido observado nas curvas de secagem (Figuras 21, 22 e 23).

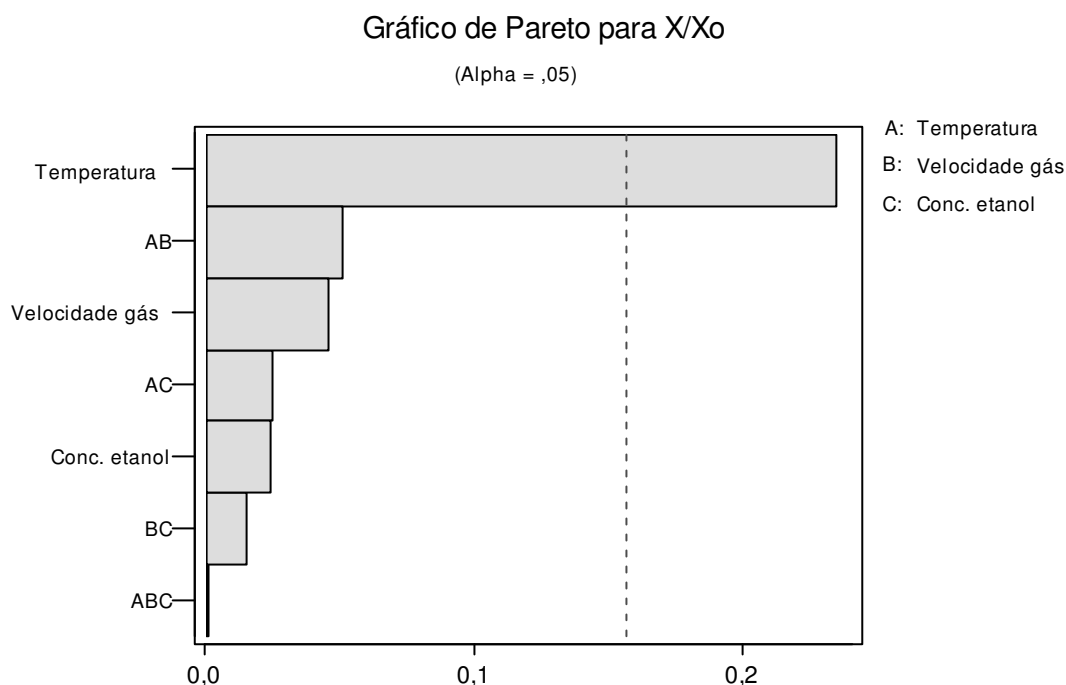


Figura 26. Gráfico de Pareto para a umidade adimensional (X/X_0) de amostras de abacaxi *Smooth Cayenne* secas em atmosferas normal e modificada com 0,5% (v/v) de etanol

Pode-se perceber então que a evaporação do aroma está relacionada com a evaporação de água. A modificação da atmosfera de secagem influenciou no mesmo sentido ambas as respostas. Na secagem do sistema-modelo isso também foi observado, embora o comportamento da umidade e do aroma tenha sido oposto ao do abacaxi. As estruturas do sistema-modelo e do abacaxi são diferentes. No primeiro caso, há a hipótese de que a formação de uma crosta seca (observada visualmente) na superfície da amostra (quando o etanol estava presente no gás de secagem) pode ter dificultado a transferência do aroma (e da umidade) até a superfície. No segundo caso, a presença de etanol no gás de

secagem diminui a pressão parcial da água no ar, o que favorece a evaporação de umidade. Isto pode ter influenciado tanto a evaporação de água quanto dos compostos do aroma.

Entretanto, a concentração de etanol foi o segundo efeito mais importante na evaporação do aroma (Figura 27) e o quinto efeito para a umidade adimensional (Figura 26). A diminuição da pressão parcial da água no ar pela presença do etanol promoveria mais a evaporação da umidade do que dos voláteis do aroma, já que estes não estão presentes no gás de secagem. Por outro lado, se alguma quantidade mínima de etanol fosse adsorvida na superfície da amostra, a tendência seria de que o etanol adsorvido dificultasse mais a difusão dos voláteis do aroma do que da umidade, já que quanto maior o tamanho molecular da substância, mais lentamente ela se difundirá até a interface (**Reineccius *et al.*, 1982**, citados por **Sayed *et al.*, 1996**). Assim, os resultados obtidos são inconclusivos em relação ao efeito da concentração de etanol sobre a umidade adimensional e a evaporação do aroma.

Sendo assim, a influência da modificação da atmosfera de secagem na evaporação de umidade e de componentes do aroma deve ser testada em outras temperaturas, bem como em concentrações maiores de etanol no gás de secagem, a fim de que se conheça um pouco melhor os fenômenos que possam estar ocorrendo. Além disso, outras substâncias (gases como CO₂ ou N₂) devem ser testadas em diferentes temperaturas e concentrações.

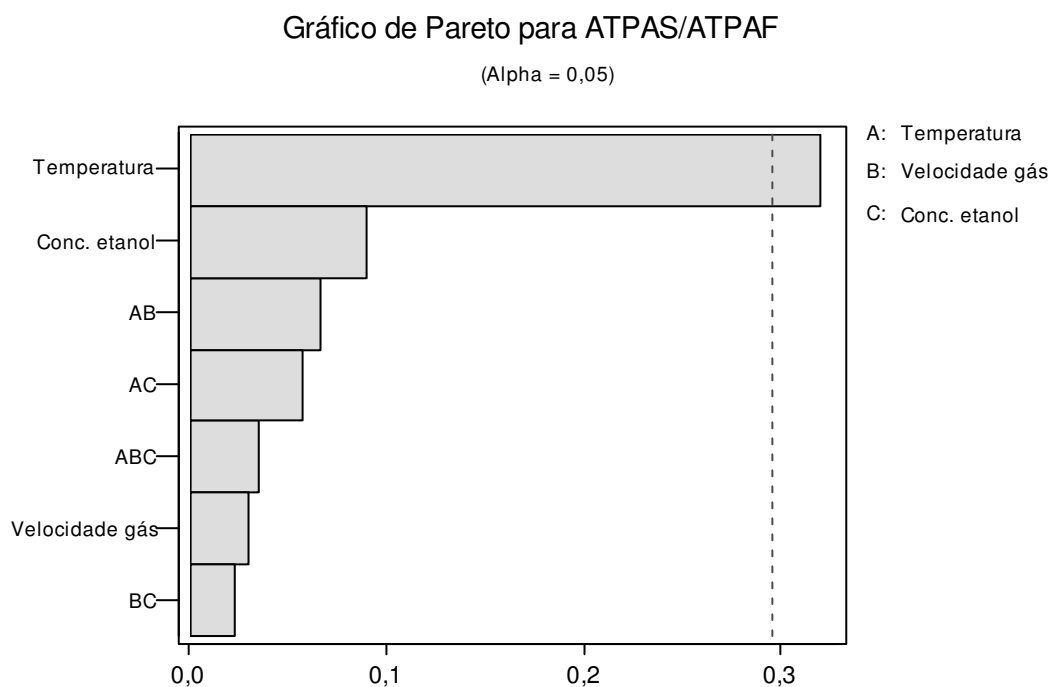


Figura 27. Gráfico de Pareto para a área total relativa dos principais picos dos voláteis do aroma de amostras de abacaxi *Smooth Cayenne* secas em atmosferas normal e modificada com 0,5% (v/v) de etanol

CONCLUSÕES

O trabalho realizado é um subsídio inicial ao estudo da secagem em atmosfera modificada; assim, foi necessário projetar, montar e desenvolver todo o aparato experimental que foi descrito neste trabalho, bem como desenvolver as metodologias analíticas para a determinação do aroma do sistema-modelo e do abacaxi. Dessa maneira, considera-se como contribuição deste trabalho:

- O desenvolvimento de um sistema de secagem que permite a modificação da atmosfera de secagem, composto por um túnel de policarbonato acoplado a um sistema de aquisição e controle de dados, sendo que este último permite a aquisição contínua do peso da amostra durante o processo de secagem; além disso, a temperatura do agente secante é controlada automaticamente. No referido sistema, pode-se modificar a atmosfera de secagem pela injeção de líquidos ou gases no interior do sistema. Se o equipamento for operado em atmosfera normal, as faixas de operação são: velocidade do gás de secagem entre 0,25 a 1,20 m/s, com temperaturas desde a ambiente até 80°C. Se a atmosfera de secagem for modificada com etanol, por exemplo, as faixas de operação são: velocidade do gás de secagem entre 0,25 m/s a 0,85 m/s, com temperaturas desde a ambiente até 80°C. A quantidade máxima inicial de amostra que pode ser utilizada é de 90 g;
- O desenvolvimento de um sistema-modelo sólido a partir da composição centesimal química do abacaxi, no qual se adicionou um dos principais componentes do aroma do abacaxi, que é o hexanoato de etila; o referido sistema-modelo pode ser seco em temperaturas usuais de secagem de frutas, sem perda de suas características estruturais. A estrutura firme da matriz sólida é dada pela presença de ágar, devido às suas propriedades geleificantes. A composição final do sistema-modelo de abacaxi é: 85,1% de água, 0,4% de celulose microcristalina, 8,4% de sacarose, 2,2% de glicose, 2,2% de frutose, 1,7% de ágar e 129 mg/ kg de hexanoato de etila;
- O desenvolvimento de uma metodologia de extração do hexanoato de etila presente no sistema-modelo úmido e seco, através da extração do referido volátil em hexano, em recipiente hermeticamente fechado, sob agitação semi-vigorosa (200 rpm), e banho a 50°C por 4 horas. A metodologia de determinação do

hexanoato de etila extraído do sistema-modelo foi obtida por análises de cromatografia gasosa, sendo que este composto apresentou um tempo de retenção aproximado de 14,7 minutos para as condições cromatográficas utilizadas; e

- O desenvolvimento de uma metodologia de extração do aroma do abacaxi *in natura* e seco, a partir da adsorção dos voláteis presentes na fruta em uma armadilha composta por 60 mg de *Porapak Q*; o éter etílico foi o solvente que extraiu de forma mais eficiente os referidos voláteis durante a operação de eluição destes da armadilha. O tempo de 3 horas de extração e o volume de eluição de 300 μ L de solvente foram as condições que proporcionaram uma maior área de picos determinados por cromatografia gasosa. Foram determinadas as condições cromatográficas para a detecção dos compostos eluídos no solvente.

Além disso, os experimentos iniciais de secagem em atmosfera modificada dos sólidos escolhidos, nas condições utilizadas, permitem concluir que:

- Na secagem do sistema-modelo com velocidade de gás de 0,84 m/s e 50°C, foi verificado que o processo sob atmosfera normal promove uma evaporação mais intensa de água do que em atmosfera modificada com 0,5% v/v de etanol; a retenção do componente de aroma foi maior na secagem em atmosfera modificada, relacionando-se isso com a menor evaporação de água; e
- Na secagem de abacaxi em atmosferas normal e modificada com 0,5% v/v de etanol, foi observado que a 40°C a evaporação da água é mais intensa em atmosfera modificada, principalmente se a velocidade do gás for de 0,84 m/s. A retenção dos componentes do aroma do abacaxi foi maior nos experimentos em atmosfera normal, comportamento oposto ao observado para o sistema-modelo.

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A partir das metodologias desenvolvidas, seria interessante realizar estudos de secagem com o sistema-modelo em atmosferas normal e modificada, variando-se a temperatura e a velocidade do gás de secagem, bem como testar outras vazões de etanol e outras substâncias para modificar a atmosfera de secagem, como o nitrogênio e o CO₂.

É interessante que se realizem experimentos de secagem do sistema-modelo e de abacaxi em outras temperaturas, concentração de etanol no gás de secagem e velocidades intermediárias às que foram utilizadas no presente trabalho (entre 0,42 a 0,84 m/s), a fim de se verificar de forma mais conclusiva os efeitos das variáveis do processo na retenção de aroma.

Como o equipamento permite o acoplamento de uma lâmpada em seu interior e que uma câmera filme a amostra que está sendo seca, pode-se verificar a influência da modificação da atmosfera de secagem no encolhimento da amostra que esteja sendo seca.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BASTOS, D. H. M. **Compostos voláteis de méis de eucalipto e laranja**. Campinas, 1996. 148 f. Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.

BELITZ, H. -D.; GROSCH, W. **Química de los alimentos**. Zaragoza: Editorial Acribia, S. A., 1988. 813 p.

BERGER, R. G.; DRAWERT, F.; NITZ, S. Sesquiterpene hydrocarbons in pineapple fruit. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, D. C., v. 1, p. 1237-1239, 1983.

BERGER, R. G. et al. Novel volatiles in pineapple fruit and their sensory properties. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, D. C. v. 33, p. 232-235, 1985.

BIQUET, B.; LABUZA, T. P. New model gel system for studying water activity of foods. **Journal of Food Processing & Preservation**, Connecticut, v. 12, n. 2, p. 151-161, 1988.

BLUMBERG, W.; SCHLÜNDER, E.-U. Simultaneous vapor and liquid diffusion in partially wetted porous media. **Drying Technology**, New York, v. 11, n. 1, p. 41-64, 1993.

BRUIN, S.; LUYBEN, K. Ch. A. M. Drying of foods materials: a review of recent developments. In: MUJUMDAR, A. S. (ed). **Advances in Drying**. Cap. 6. Washington: Hemisphere Publishing Corporation, 1980, v. 1, p. 155-215.

CAREY, F. A. **Organic chemistry**. 4. ed. Boston: McGraw-Hill, 2000. 1241 p.

CECCHI, H. M. **Fundamentos teóricos e práticos em análise de alimentos**. 2. ed. Campinas: Editora da Unicamp, 2003. 207 p.

CONVÊNIO GEIDA – FCTPTA. **Aspectos tecnológicos de alguns produtos agropecuários de interesse da área de irrigação do Nordeste: abacaxi**. Campinas: GEIDA/FcTPTA, 1971. 91 p.

COUMANS, W. J.; KERKHOF, J. A. M.; BRUIN, S. Theoretical and practical aspects of aroma retention in spray drying and freeze drying. **Drying Technology**, New York, v. 12, n. 1&2, p. 99-149, 1994.

DULL, G. G. The pineapple: general. In: HULME, A. C. (ed). **The biochemistry of fruits and their products**. New York: Academic Press, 1971, v. 2, p. 303-315.

ELSS, S. et al. Aroma profiles of pineapple fruit (*Ananas comosus* [L.] Merr.) and pineapple products. **Food Science and Technology**, v. 38, n. 3, p. 263-274, 2005.

ENGEL, K. H.; HEIDLAS, J.; TRESSL, R. The flavour of tropical fruits (banana, melon, pineapple). In: MORTON, I. D.; MACLEOD, A. J. (eds). **Food flavours: Part C – The flavour of fruits**. Amsterdam: Elsevier, 1990, p. 195-219.

FENAROLI, G. **Fenaroli's handbook of flavour ingredients**. Cleveland: The Chemical Rubber Co., 1971. 803 p.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). FAOSTAT. **Produção Mundial de Abacaxi de 1997 a 2004**. Disponível em:

<<http://apps.fao.org/page/form?collection=Production.Crops.Primary&Domain=Production&servlet=1&language=ES&hostname=apps.fao.org&version=default>>. Acesso em: fevereiro 2006.

FOUST, A. S. et al. **Princípios das operações unitárias**. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1980. 670 p.

FRANCO, M. R. **Isolamento e cromatografia gasosa dos voláteis de graviola e mamão**. Campinas, 1980. 110 f. Tese (Mestrado em Ciência de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.

FRANCO, M. R. B.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Trapping of soursop (*Annona muricata*) juice volatile on Porapak Q by suction. **Journal of Science of Food and Agriculture**, v. 34, n. 3, p.293-299, 1983.

FRANCO, M. R. **Componentes voláteis e sabor de manga (*Mangifera indica L.*) e mamão (*Carica papaya L.*)**. Campinas, 1992. 192 f. Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.

FRANCO, M. R. B.; SHIBAMOTO, T. Volatile composition of some Brazilian fruits: umbu-cajá (*Spondias citherea*), camu-camu (*Myrciaria dubia*), araçá-boi (*Eugenia stipitata*) and cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, D. C., v. 48, n. 4, p. 1263-1265, 2000.

FURUTA, T. et al. Retention of emulsified flavor during spray drying and release characteristics from the powder. In: INTERNATIONAL DRYING SYMPOSIUM (IDS' 2000), 12, 2000, Noordwijkerhout. **Proceedings of the 12th International Drying Symposium**. Elsevier Science B.V. ISSN 0-444-50422-2. Trabalho n. 227. CD-ROM.

GARRUTI, D. S. **Composição de voláteis e qualidade de aroma do vinho de caju**. Campinas, 2001. 118 f. Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.

GIACOMELLI, E. J. **Expansão da abacaxicultura no Brasil**. Campinas: Fundação Cargill, 1982. 79 p.

GÖGÜS F.; LAMB, J. Choice of model gel systems for the food dehydration studies. **Drying Technology**, New York, v. 16, n. 1&2, p. 297-309, 1998.

GOODING, C. H. Estimating flash point and lower explosive limit. **Chemical Engineering**, v. 90, n. 25, p. 88, 1983.

HASSAN, H. M.; SAYED, A. A.; MUMFORD, C. J. Volatiles retention in the drying of skin forming materials. Part 2: natural materials. **Drying Technology**, New York, v. 14, n. 3&4, p. 565-579, 1996 a.

HASSAN, H. M.; SAYED, A. A.; MUMFORD, C. J. Volatiles retention in the drying of skin forming materials. Part 3: heat - sensitive materials. **Drying Technology**, New York, v. 14, n. 3&4, p. 581-593, 1996 b.

HEATH, H. B.; REINECCIUS, G. **Flavor chemistry and technology**. New York: Van Nostrand Reinhold Company, 1986. 442 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola/ LSPA**. Pesquisa Mensal de Previsão e Acompanhamento das Safras Agrícolas no Ano Civil, fevereiro/ 2006. Disponível em:< ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistematico_da_Producao_Agricola_%5Bmensal%5D/Fasciculo/ >. Acesso em: fevereiro 2006.

JANZANTTI, N. S. I. **Composição de voláteis de maçãs (*Malus domestica*) cultivar Fuji. II. Efeito do processamento e do armazenamento na composição de voláteis de suco clarificado de maçãs Fuji**. Campinas, 1996. 186 f. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.

JOWITT, R. Vapour component selectivity when drying porous solids wetted with liquid mixtures. In: JOWITT, R. et al. (eds.). **Physical properties of foods – 2**. Cap. 12. Essex: Elsevier, 1987, p. 147-155.

KAIRUI, Z.; PAKOWSKI, Z. Drying properties of ejiao. In: INTERNATIONAL DRYING SYMPOSIUM (IDS '96), 10, 1996, Kraków, Poland. **Proceedings of the 10th International Drying Symposium**. v. B, p. 1255-1260.

KAREL, M. Properties controlling mass transfer in foods and related model systems. In: CHOKYUN, R. (ed). **Theory, determination and control of physical properties of food materials**. Cap. 11. Dordrecht: D. Reidel Publishing Company, 1975, p. 221-250.

KEEY, R. B. **Drying: principles and practice**. 1. ed. Oxford: Pergamon Press, 1972. 358 p.

KEEY, R. B. **Drying of loose and particulate materials**. New York: Hemisphere Publishing Corporation, 1992. 504 p.

KITO-BORSA, T. et al. Properties of an ethanol-diethyl-water fuel mixture for cold-start assistance of an ethanol-fueled vehicle. **Industrial Engineering Chemical Research**, Washington, D. C., v. 37, p. 3366-3374, 1998.

LELAND, V. J. Flavor interactions: the greater whole. **Food Technology**, Chicago, v. 51, n. 1, p.75-80, 1997.

LEWIS, W. K.; SQUIRES, L. Evaporation of mixed lacquer solvents. **Industrial and Engineering Chemistry**, Easton, v. 29, n. 1, p. 109-114, 1937.

LIU, X. et al. Estimating retention of emulsified flavor in a single droplet during drying. In: INTERNATIONAL DRYING SYMPOSIUM (IDS' 2000), 12, 2000, Noordwijkerhout. **Proceedings of the 12th International Drying Symposium**. Elsevier Science B.V. ISSN 0-444-50422-2. Trabalho n. 226. CD-ROM.

LUNA, F.; MARTÍNEZ, J. Stability of the dynamical system describing gas-phase-controlled drying of ternary mixtures. In: INTER-AMERICAN DRYING CONFERENCE (IADC), 1997, Itu, Brazil. **Proceedings of the Inter-American Drying Conference**. v. A, p. 99-106.

LUNING, P. A.; EBBENHORST-SELLER, T.; de RIJK, T. Effect of hot-air drying on flavour compounds of Bell Peppers (*Capsicum annuum*). **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Chichester, v. 68, n. 3, p. 355-365, 1995.

MAARSE, H. Introduction. In: MAARSE, H. (ed). **Volatile compounds in foods and beverages**. New York: Marcel Dekker, Inc., 1991, p. 1-39.

MAROUSIS, S. N.; KARATHANOS, V. T.; SARAVACOS, G. D. Effect of sugars on the water diffusivity in hydrated granular starches. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 54, n. 6, p. 1496-1552, 1989.

MARTINEZ, J.; SETTERWALL, F. Gas-phase controlled convective drying of solids wetted with multicomponent liquid mixtures. **Chemical Engineering Science**, v. 46, n. 9, p. 2235-2252, 1991.

MEDINA, J. C. et al. **Abacaxi**: cultura, matéria-prima, processamento e aspectos econômicos. 2. ed. Campinas: ITAL, 1987. 285 p. (Série Frutas Tropicais n. 2).

MENTING, L. C.; HOOGSTAD, B.; THIJSEN, H. A. C. Aroma retention during the drying of liquid foods. **Journal of Food Technology**, London, v. 5, n. 2, p. 127-139, 1970.

MORAIS, M. M.; SILVA, M. A. Preliminary study of pineapple aroma retention in drying with preloaded gas. In: INTERNATIONAL DRYING SYMPOSIUM (IDS' 2004), 14, 2004, São Paulo. **Proceedings of the 14th International Drying Symposium**, v. C. 1620-1627.

MORAIS, M. M.; SANTOS, P. H. S.; SILVA, M. A. 2004. Estudo da retenção de voláteis na secagem em atmosfera modificada: desenvolvimento de um sistema modelo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS PARTICULADOS (ENEMP 2004), 31, 2004, Uberlândia. **Anais do XXXI Congresso Brasileiro De Sistemas Particulados**. CD-ROM.

NICOLETI, J. F. **Cinética de secagem e encolhimento de fatias de abacaxi**. São José do Rio Preto, 2001. 84 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos) – Universidade Estadual Paulista.

NICOLETI, J. F.; TELIS-ROMERO, J.; TELIS, V. R. N. Air-drying of fresh and osmotically pre-treated pineapple slices: fixed air temperature versus fixed slice temperature drying kinetics. **Drying Technology**, New York, v. 19, n. 9, p. 2175-2191, 2001.

NIJHUIS, H. H.; TORRINGA, E.; LUYTEN, H.; RENÉ, F.; JONES, P.; FUNEBO, T.; OHLSSON, T. Research needs and opportunities in the dry conservation of fruits and vegetables, **Drying Technology**, New York, v. 14, n. 6, p. 1429-1457, 1996.

PAKOWSKI, Z. Drying of solids containing multicomponent moisture. In: MUJUMDAR, A. S. (ed). **Advances in Drying**. Cap. 5. Washington: Hemisphere Publishing Corporation, 1992, v. 5, p. 145-202.

PAKOWSKI, Z. Drying of solids containing multicomponent moisture. In: INTERNATIONAL DRYING SYMPOSIUM (IDS' 94), 9, 1994, Goald Coast. Drying'94. **Proceedings of the 9th International Drying Symposium**, v. A, p. 27-38.

PICKENHAGEN, W. et al. Estimation of 2,5-dimethyl-4-hydroxy-3(2H)-furanone (FURANEOL[®]) in cultivated and wild strawberries, pineapples and mangoes. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 32, n. 11, p. 1132-1134, 1981.

POLL, L.; FLINK, J. M. Aroma analysis of apple juice: influence of salt addition on headspace volatile composition as measured by gas chromatography and corresponding sensory evaluations. **Food Chemistry**, Essex, v. 13, n. 3, p. 193-207, 1984.

RAMALLO, L. A; MASCHERONI, R. H. Prediction and determination of ascorbic acid content during pineapple drying. In: INTERNATIONAL DRYING SYMPOSIUM (IDS' 2004), 14, 2004, São Paulo. **Proceedings of the 14th International Drying Symposium**, v. C. 1984-1991.

REGA, B.; GUICHARD, E.; VOILLEY, A. Flavor release from pectin gels: effects of texture, molecular interactions and aroma compounds diffusion. **Sciences des Aliments**, v. 22, p. 235-248, 2002.

RIEDE, Th.; SCHLÜNDER, E. U. Selective evaporation of a ternary mixture containing one nonvolatile component with regard to drying processes. **Chemical Engineering and Processing**, Switzerland, v. 28, n. 3, p. 151-163, 1990.

RULKENS, W. H.; THIJSEN, H. A. C. The retention of organic volatiles in spray-drying aqueous carbohydrate solutions. **Journal of Food Technology**, London, v. 7, n. 1, p. 95-105, 1972.

SAYED, A. A.; HASSAN, H. M.; MUMFORD, C. J. Volatiles retention in the drying of skin forming materials. Part 1: materials which gelatinize at moderately high temperatures. **Drying Technology**, New York, v. 14, n. 3&4, p. 529-563, 1996.

SCHRADER, G. W.; LITCHFIELD, J. B. Moisture profiles in a model food gel during drying: measurement using magnetic resonance imaging and evaluation of the fickian model. **Drying Technology**, New York, v. 10, n. 2, p. 295-332, 1992.

SCHULTZ, P.; SCHLÜNDER, E. U. Influence of additives on crust formation during drying. **Chemical Engineering and Processing**, Switzerland, v. 28, p. 133-142, 1990.

SCHWARZBACH, J.; NILLES, M.; SCHLÜNDER, E. U. Microconvection in porous media during pervaporation of a liquid mixture – an experimental study. **Chemical Engineering and Processing**, Switzerland, v. 22, n. 3, p. 163-175, 1987.

SELBY, H. H.; WHISTLER, R. L. Agar. In: WHISTLER, R. L.; BeMILLER, N. J. (eds.). **Industrial gums: polysaccharides and their derivatives**. San Diego: Academic Press, Inc., 1993, p. 87-103.

SGARBIERI, V. C. Composição do abacaxi. **Boletim do Centro Tropical de Pesquisa e Tecnologia de Alimentos- CTPTA/ITAL**, n. 7, p.37-50, 1966.

SILVA, M. A.; KERKHOF, P. J. A. M; COUMANS, W. J. Estimation of effective diffusivity in drying of heterogeneous porous media. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, v. 39, n. 05, p. 1443-1452, 2000.

TAKEOKA, G. et. al. Volatile constituents of pineapple (*Ananas Comosus* [L.] Merr.). In: TERANISHI, R.; BUTTERY, R. G.; SHAHIDI, F. **Flavor chemistry: trends and developments**. Washington D. C.: ACS, 1989, p. 223-237.

THOMAZINI, M. **Composição de voláteis de sucos provenientes da fruta e polpa congeladas de umbu (*Spondias tuberosa*, *Anacardiaceae*)**. Campinas, 1998. 91 f. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.

TURNER F.; SCHLÜNDER, E. Convective drying of porous materials containing binary mixtures. In: TOEY, R.; MUJUMDAR, A. S. (ed). **Drying '85**. Washington: Hemisphere Publishing Corporation, 1985, p. 117-125.

TIETZ, M.; SCHLÜNDER E. U. Through drying of paper Part II: Additives in the air improve product quality, **Chemical Engineering and Processing**, Switzerland, v. 32, p. 161-165, 1993.

TOKIMOTO, Y. et al. Odor-active constituents in fresh pineapple (*Ananas comosus* [L.] Merr.) by quantitative and sensory evaluation. **Bioscience, Biotechnology and Biochemistry**, Tokyo, v. 69, n. 7, p. 1323-1330, 2005.

UDDIN, M. S.; HAWLADER, N. A. Evaluation of drying characteristics of pineapple in the production of pineapple powder. **Journal of Food Processing and Preservation**, Connecticut, v. 14, p. 375-391, 1990.

VÉLEZ-RUIZ, J. F.; KOSEGARTEN-CONDE, C.; LÓPEZ-MALO, A. Drying of pineapples slices previously treated by osmotic dehydration. In: INTERNATIONAL DRYING SYMPOSIUM (IDS '2000), 12, 2000, Noordwijkerhout. **Proceedings of the 12th International Drying Symposium**. Elsevier Science B.V. ISSN 0-444-50422-2. Trabalho n. 373. CD-ROM.

WAANANEN, K. M.; LITCHFIELD, J. B.; OKOS, M. R. Classification of drying models for porous solids. **Drying Technology**, New York, v. 11, n. 1, p. 1-40, 1993.

WEURMAN, C. Isolation and concentration of volatiles in foods odor research. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, D. C., v. 17, n. 2, p. 370-384, 1969.

ZOGZAS, N. P.; MAROULIS, Z. B.; MARINOS-KOURIS, D. Moisture diffusivity methods of experimental determination – a review. **Drying Technology**, New York, v. 12, n. 3, p. 483-515, 1994.

ZHOU, L. et al. Measurement of coefficients for simultaneous heat and mass transfer in food products. **Drying Technology**, New York, v. 12, n. 3, p. 607-627, 1994.

ANEXO A1

DADOS DE SECAGEM DO SISTEMA-MODELO EM **ATMOSFERAS NORMAL E MODIFICADA COM 0,5% (V/V)** **DE ETANOL**

Tabela A1.1. Dados de secagem do sistema-modelo: 50°C – 0,84 m/s – atmosfera normal

Tempo (min)	X (g umidade/ g sólido seco)	X/ X _o	- dX/ dt (10 ³ g umidade/ g sólido seco/ min)				
				46,83	5,434	0,926	8,600
				47,90	5,424	0,924	8,600
0,00	5,869	1,000	8,600	48,97	5,413	0,922	8,600
1,07	5,861	0,999	8,600	50,03	5,403	0,921	8,600
2,13	5,853	0,997	8,600	51,12	5,392	0,919	8,600
3,20	5,845	0,996	8,600	52,17	5,382	0,917	8,600
4,27	5,836	0,994	8,600	53,23	5,371	0,915	8,600
7,43	5,810	0,990	8,600	54,30	5,362	0,914	8,600
8,50	5,801	0,988	8,600	55,37	5,352	0,912	8,600
9,57	5,791	0,987	8,600	56,43	5,341	0,910	8,600
10,63	5,782	0,985	8,600	57,50	5,331	0,908	8,600
11,70	5,772	0,984	8,600	60,57	5,301	0,903	8,600
12,77	5,762	0,982	8,600	61,63	5,291	0,902	8,600
13,83	5,753	0,980	8,600	62,70	5,280	0,900	8,600
14,90	5,743	0,979	8,600	63,77	5,270	0,898	8,600
15,97	5,732	0,977	8,600	64,83	5,261	0,896	8,600
17,03	5,723	0,975	8,600	65,90	5,250	0,895	8,600
18,10	5,713	0,973	8,600	66,97	5,240	0,893	8,600
19,17	5,703	0,972	8,600	68,03	5,229	0,891	8,600
21,23	5,683	0,968	8,600	69,10	5,220	0,889	8,600
22,30	5,673	0,967	8,600	70,17	5,209	0,888	8,600
23,37	5,662	0,965	8,600	71,23	5,200	0,886	8,600
24,43	5,652	0,963	8,600	72,30	5,189	0,884	8,600
25,50	5,642	0,961	8,600	73,37	5,179	0,883	8,600
26,57	5,631	0,960	8,600	74,43	5,169	0,881	8,600
27,63	5,621	0,958	8,600	75,50	5,159	0,879	8,600
28,70	5,611	0,956	8,600	76,57	5,149	0,877	8,600
29,77	5,601	0,954	8,600	77,63	5,139	0,876	8,600
30,83	5,591	0,953	8,600	78,70	5,129	0,874	8,600
31,90	5,580	0,951	8,600	79,77	5,119	0,872	8,600
32,97	5,570	0,949	8,600	80,83	5,109	0,871	8,600
34,03	5,559	0,947	8,600	81,90	5,099	0,869	8,600
35,10	5,549	0,945	8,600	82,97	5,089	0,867	8,600
36,17	5,539	0,944	8,600	84,03	5,079	0,865	8,600
37,23	5,528	0,942	8,600	85,10	5,069	0,864	8,600
38,30	5,518	0,940	8,600	86,17	5,059	0,862	8,600
39,37	5,508	0,938	8,600	87,23	5,048	0,860	8,600
40,43	5,497	0,937	8,600	88,30	5,038	0,858	8,600
41,50	5,487	0,935	8,600	89,37	5,029	0,857	8,600
42,57	5,476	0,933	8,600	90,43	5,018	0,855	8,600
43,63	5,466	0,931	8,600	91,50	5,008	0,853	8,600
44,70	5,455	0,929	8,600	92,57	4,999	0,852	8,600
45,77	5,445	0,928	8,600	94,57	4,980	0,848	8,600

ANEXO A1

95,63	4,970	0,847	8,600	136,12	4,604	0,784	8,600
96,70	4,960	0,845	8,600	137,12	4,595	0,783	8,600
97,77	4,950	0,843	8,600	138,12	4,586	0,781	8,600
98,83	4,941	0,842	8,600	138,20	4,586	0,781	8,600
99,90	4,931	0,840	8,600	139,22	4,576	0,780	8,600
100,97	4,921	0,838	8,600	139,30	4,576	0,780	8,600
102,03	4,911	0,837	8,600	140,32	4,567	0,778	8,600
103,10	4,902	0,835	8,600	141,32	4,558	0,777	8,600
104,17	4,892	0,834	8,600	141,40	4,557	0,777	8,600
105,23	4,882	0,832	8,600	142,40	4,548	0,775	8,600
106,30	4,872	0,830	8,600	142,48	4,548	0,775	8,600
107,37	4,863	0,829	8,600	143,50	4,539	0,773	8,600
108,43	4,853	0,827	8,600	144,50	4,530	0,772	8,600
109,50	4,843	0,825	8,600	144,58	4,529	0,772	8,600
110,57	4,833	0,824	8,600	145,60	4,520	0,770	8,600
111,63	4,824	0,822	8,600	145,68	4,520	0,770	8,600
112,70	4,814	0,820	8,600	146,68	4,511	0,769	8,600
113,77	4,805	0,819	8,600	147,68	4,502	0,767	8,600
114,83	4,794	0,817	8,600	147,77	4,501	0,767	8,600
115,90	4,784	0,815	8,600	148,78	4,492	0,765	8,600
116,97	4,775	0,814	8,600	148,87	4,492	0,765	8,600
118,03	4,766	0,812	8,600	149,87	4,484	0,764	8,600
119,10	4,756	0,810	8,600	150,87	4,475	0,762	8,600
120,17	4,746	0,809	8,600	150,95	4,473	0,762	8,600
121,23	4,737	0,807	8,600	151,95	4,465	0,761	8,600
122,30	4,727	0,805	8,600	152,03	4,465	0,761	8,600
123,37	4,718	0,804	8,600	153,03	4,456	0,759	8,600
124,43	4,708	0,802	8,600	153,12	4,455	0,759	8,600
125,50	4,698	0,800	8,600	154,13	4,446	0,758	8,600
127,50	4,681	0,798	8,600	155,13	4,438	0,756	8,600
127,58	4,680	0,797	8,600	155,22	4,438	0,756	8,600
128,58	4,671	0,796	8,600	156,22	4,429	0,755	8,600
128,68	4,670	0,796	8,600	156,30	4,428	0,754	8,600
129,68	4,661	0,794	8,600	157,32	4,419	0,753	8,600
130,68	4,652	0,793	8,600	158,32	4,411	0,752	8,600
130,77	4,652	0,793	8,600	158,40	4,410	0,751	8,600
131,77	4,642	0,791	8,600	159,40	4,401	0,750	8,600
131,85	4,642	0,791	8,600	159,48	4,401	0,750	8,600
132,85	4,633	0,789	8,600	160,48	4,392	0,748	8,600
132,93	4,632	0,789	8,600	160,57	4,391	0,748	8,600
133,93	4,623	0,788	8,600	161,57	4,383	0,747	8,600
134,93	4,614	0,786	8,600	162,58	4,375	0,745	8,600
135,02	4,614	0,786	8,600	162,67	4,374	0,745	8,600
136,03	4,604	0,785	8,600	163,67	4,365	0,744	8,600

ANEXO A1

163,75	4,364	0,744	8,600	191,33	4,136	0,705	8,600
164,75	4,356	0,742	8,600	192,35	4,128	0,703	8,600
165,77	4,348	0,741	8,600	192,43	4,127	0,703	8,600
165,85	4,347	0,741	8,600	193,43	4,119	0,702	8,600
166,87	4,338	0,739	8,600	194,43	4,111	0,701	8,600
167,87	4,329	0,738	8,600	194,52	4,110	0,700	8,600
167,95	4,329	0,738	8,600	195,53	4,098	0,698	8,600
168,95	4,320	0,736	8,600	195,62	4,097	0,698	8,600
169,03	4,320	0,736	8,600	196,62	4,090	0,697	8,600
170,03	4,311	0,735	8,600	197,63	4,081	0,695	8,600
170,12	4,311	0,735	8,600	197,72	4,080	0,695	8,600
171,12	4,302	0,733	8,600	198,72	4,073	0,694	8,600
172,12	4,294	0,732	8,600	198,80	4,073	0,694	8,600
172,20	4,293	0,732	8,600	199,80	4,065	0,693	8,600
173,20	4,285	0,730	8,600	200,82	4,056	0,691	8,600
173,28	4,284	0,730	8,600	200,90	4,055	0,691	8,600
174,28	4,276	0,729	8,600	201,90	4,048	0,690	8,600
174,37	4,275	0,728	8,600	201,98	4,047	0,690	8,600
175,37	4,267	0,727	8,600	202,98	4,039	0,688	8,600
176,37	4,259	0,726	8,600	203,07	4,038	0,688	8,600
176,45	4,258	0,726	8,600	204,07	4,031	0,687	8,600
177,45	4,250	0,724	8,600	205,08	4,023	0,685	8,600
177,53	4,250	0,724	8,600	205,17	4,022	0,685	8,600
178,55	4,241	0,723	8,600	206,18	4,014	0,684	8,600
179,55	4,233	0,721	8,600	207,18	4,005	0,682	8,600
179,63	4,233	0,721	8,600	207,27	4,004	0,682	8,600
180,63	4,224	0,720	8,600	208,27	3,996	0,681	8,600
180,72	4,223	0,720	8,600	208,35	3,996	0,681	8,600
181,72	4,215	0,718	8,600	209,37	3,987	0,679	8,600
181,80	4,214	0,718	8,600	210,37	3,980	0,678	8,600
182,80	4,207	0,717	8,600	210,45	3,979	0,678	8,600
183,82	4,198	0,715	8,600	211,45	3,971	0,677	8,600
183,90	4,198	0,715	8,600	211,53	3,970	0,676	8,600
184,90	4,189	0,714	8,600	212,53	3,962	0,675	8,600
184,98	4,188	0,714	8,600	212,62	3,961	0,675	8,600
185,98	4,180	0,712	8,600	213,62	3,953	0,674	8,600
187,00	4,171	0,711	8,600	214,62	3,945	0,672	8,600
187,08	4,171	0,711	8,600	214,70	3,944	0,672	8,600
188,08	4,163	0,709	8,600	215,70	3,936	0,671	8,600
188,17	4,162	0,709	8,600	215,78	3,936	0,671	8,600
189,17	4,154	0,708	8,600	216,78	3,929	0,669	8,600
189,25	4,154	0,708	8,600	216,87	3,928	0,669	8,600
190,25	4,145	0,706	8,600	217,88	3,920	0,668	8,600
191,25	4,137	0,705	8,600	218,88	3,912	0,667	8,600

ANEXO A1

218,97	3,911	0,666	8,600	246,58	3,689	0,629	8,600
219,97	3,903	0,665	8,600	247,60	3,681	0,627	8,600
220,05	3,902	0,665	8,600	247,68	3,681	0,627	8,600
221,05	3,894	0,663	8,600	248,68	3,672	0,626	8,600
222,07	3,886	0,662	8,600	249,68	3,664	0,624	8,600
222,15	3,885	0,662	8,600	249,77	3,664	0,624	8,600
223,15	3,877	0,661	8,600	250,77	3,656	0,623	8,600
223,23	3,876	0,660	8,600	250,85	3,655	0,623	8,600
224,23	3,868	0,659	8,600	251,85	3,648	0,621	8,600
224,32	3,868	0,659	8,600	251,93	3,647	0,621	8,600
225,32	3,859	0,658	8,600	252,95	3,638	0,620	8,600
226,33	3,851	0,656	8,600	253,95	3,630	0,619	8,600
226,42	3,851	0,656	8,600	254,03	3,630	0,618	8,600
227,42	3,842	0,655	8,600	255,03	3,622	0,617	8,600
227,50	3,842	0,655	8,600	255,12	3,621	0,617	8,600
228,50	3,834	0,653	8,600	256,13	3,613	0,616	8,600
229,50	3,826	0,652	8,600	257,13	3,604	0,614	8,600
229,58	3,825	0,652	8,600	257,22	3,604	0,614	8,600
230,60	3,817	0,650	8,600	258,22	3,596	0,613	8,600
230,68	3,817	0,650	8,600	258,30	3,596	0,613	8,600
231,68	3,809	0,649	8,600	259,30	3,588	0,611	8,600
232,68	3,800	0,648	8,600	259,38	3,587	0,611	8,600
232,77	3,799	0,647	8,600	260,38	3,579	0,610	8,600
233,77	3,792	0,646	8,600	261,38	3,571	0,608	8,600
233,85	3,791	0,646	8,600	261,47	3,570	0,608	8,600
234,87	3,783	0,645	8,600	262,47	3,563	0,607	8,600
235,88	3,775	0,643	8,600	262,55	3,562	0,607	8,600
235,97	3,774	0,643	8,600	263,55	3,554	0,606	8,600
236,97	3,766	0,642	8,600	264,57	3,546	0,604	8,600
237,05	3,765	0,642	8,600	264,65	3,545	0,604	8,600
238,05	3,757	0,640	8,600	265,67	3,537	0,603	8,574
239,07	3,749	0,639	8,600	265,75	3,537	0,603	8,572
239,15	3,748	0,639	8,600	266,75	3,528	0,601	8,552
240,15	3,740	0,637	8,600	267,75	3,520	0,600	8,531
240,23	3,739	0,637	8,600	267,83	3,519	0,600	8,530
241,23	3,731	0,636	8,600	268,85	3,511	0,598	8,509
241,32	3,730	0,636	8,600	268,93	3,511	0,598	8,507
242,32	3,723	0,634	8,600	269,93	3,503	0,597	8,487
243,32	3,715	0,633	8,600	270,93	3,495	0,596	8,467
243,40	3,715	0,633	8,600	271,02	3,494	0,595	8,465
244,42	3,706	0,631	8,600	272,02	3,486	0,594	8,445
244,50	3,705	0,631	8,600	272,10	3,486	0,594	8,443
245,50	3,698	0,630	8,600	273,10	3,478	0,593	8,423
246,50	3,690	0,629	8,600	273,18	3,477	0,592	8,421

ANEXO A1

274,20	3,469	0,591	8,400	301,83	3,252	0,554	7,861
275,20	3,461	0,590	8,380	302,83	3,244	0,553	7,843
275,28	3,460	0,590	8,379	302,92	3,244	0,553	7,841
276,28	3,453	0,588	8,358	303,92	3,235	0,551	7,822
276,37	3,452	0,588	8,357	304,00	3,235	0,551	7,821
277,38	3,444	0,587	8,336	305,02	3,227	0,550	7,802
278,38	3,437	0,586	8,316	306,02	3,220	0,549	7,783
278,47	3,436	0,585	8,315	306,10	3,219	0,548	7,781
279,47	3,427	0,584	8,295	307,10	3,211	0,547	7,763
279,55	3,427	0,584	8,293	307,18	3,210	0,547	7,761
280,55	3,419	0,583	8,273	308,18	3,203	0,546	7,742
280,63	3,418	0,582	8,272	309,18	3,195	0,544	7,724
281,63	3,410	0,581	8,252	309,27	3,194	0,544	7,722
282,65	3,403	0,580	8,232	310,27	3,186	0,543	7,704
282,73	3,402	0,580	8,230	310,35	3,186	0,543	7,702
283,73	3,393	0,578	8,210	311,35	3,178	0,542	7,684
283,82	3,393	0,578	8,209	311,43	3,177	0,541	7,682
284,82	3,385	0,577	8,189	312,43	3,168	0,540	7,664
285,83	3,377	0,575	8,169	313,43	3,161	0,539	7,646
285,92	3,376	0,575	8,167	313,52	3,159	0,538	7,644
286,92	3,369	0,574	8,148	314,52	3,153	0,537	7,626
287,00	3,368	0,574	8,146	314,60	3,151	0,537	7,624
288,00	3,360	0,573	8,127	315,62	3,144	0,536	7,606
289,00	3,352	0,571	8,107	316,62	3,136	0,534	7,587
289,08	3,352	0,571	8,106	316,70	3,135	0,534	7,586
290,08	3,344	0,570	8,086	317,70	3,128	0,533	7,568
290,17	3,343	0,570	8,085	317,78	3,127	0,533	7,566
291,18	3,335	0,568	8,065	318,78	3,119	0,531	7,548
292,18	3,327	0,567	8,046	318,87	3,119	0,531	7,546
292,27	3,327	0,567	8,044	319,87	3,111	0,530	7,528
293,27	3,318	0,565	8,025	320,88	3,105	0,529	7,510
293,35	3,318	0,565	8,023	320,97	3,104	0,529	7,509
294,37	3,310	0,564	8,003	321,97	3,096	0,528	7,491
295,38	3,302	0,563	7,984	322,05	3,096	0,528	7,489
295,47	3,302	0,563	7,982	323,05	3,089	0,526	7,471
296,48	3,293	0,561	7,963	323,13	3,087	0,526	7,470
296,57	3,293	0,561	7,961	324,13	3,080	0,525	7,452
297,57	3,286	0,560	7,942	325,13	3,072	0,523	7,434
298,57	3,278	0,558	7,923	325,22	3,071	0,523	7,432
298,65	3,277	0,558	7,922	326,23	3,062	0,522	7,414
299,67	3,269	0,557	7,902	326,32	3,061	0,521	7,413
299,75	3,268	0,557	7,901	327,32	3,052	0,520	7,395
300,75	3,260	0,555	7,882	328,32	3,047	0,519	7,377
301,75	3,253	0,554	7,863	328,40	3,047	0,519	7,376

ANEXO A1

329,42	3,039	0,518	7,358	342,20	2,943	0,502	7,135
329,50	3,038	0,518	7,356	343,22	2,935	0,500	7,118
330,50	3,031	0,516	7,339	344,30	2,928	0,499	7,100
331,50	3,024	0,515	7,321	344,38	2,928	0,499	7,098
331,58	3,021	0,515	7,320	345,38	2,920	0,498	7,081
332,58	3,015	0,514	7,302	346,48	2,912	0,496	7,062
332,67	3,014	0,514	7,301	347,50	2,904	0,495	7,045
333,67	3,006	0,512	7,283	348,52	2,898	0,494	7,028
333,75	3,006	0,512	7,282	348,60	2,898	0,494	7,027
334,77	2,999	0,511	7,264	349,68	2,889	0,492	7,008
335,77	2,992	0,510	7,246	350,68	2,882	0,491	6,992
335,85	2,991	0,510	7,245	351,78	2,873	0,489	6,973
336,85	2,984	0,508	7,228	352,87	2,866	0,488	6,955
336,93	2,983	0,508	7,226	353,87	2,859	0,487	6,938
337,95	2,975	0,507	7,209	354,95	2,851	0,486	6,920
338,95	2,968	0,506	7,191	355,97	2,843	0,484	6,904
339,03	2,966	0,505	7,190	356,05	2,843	0,484	6,902
340,03	2,960	0,504	7,173	357,05	2,836	0,483	6,886
340,12	2,960	0,504	7,171	358,13	2,829	0,482	6,868
341,12	2,952	0,503	7,154	359,22	2,821	0,481	6,850
341,20	2,951	0,503	7,153	360,20	2,813	0,479	6,834

Tabela A1.2. Dados de secagem do sistema-modelo: 50°C – 0,84 m/s – atmosfera modificada com 0,5% (v/v) de etanol

Tempo (min)	X (g umidade/ g sólido seco)	X/ X _o	- dX/ dt (10 ³ g umidade/ g sólido seco/ min)				
				30,08	5,458	0,962	7,700
				31,10	5,450	0,961	7,700
0,00	5,673	1,000	7,700	32,13	5,442	0,959	7,700
1,27	5,664	0,998	7,700	33,15	5,433	0,958	7,700
1,37	5,663	0,998	7,700	33,25	5,433	0,958	7,700
3,28	5,653	0,996	7,700	34,27	5,425	0,956	7,700
4,45	5,644	0,995	7,700	35,28	5,416	0,955	7,700
4,55	5,643	0,995	7,700	35,38	5,416	0,955	7,700
5,57	5,635	0,993	7,700	36,40	5,407	0,953	7,700
6,58	5,630	0,992	7,700	37,43	5,401	0,952	7,700
6,68	5,627	0,992	7,700	38,45	5,392	0,950	7,700
7,70	5,621	0,991	7,700	38,55	5,391	0,950	7,700
8,72	5,614	0,990	7,700	39,57	5,382	0,949	7,700
8,82	5,612	0,989	7,700	40,60	5,375	0,947	7,700
9,85	5,607	0,988	7,700	40,70	5,374	0,947	7,700
10,87	5,599	0,987	7,700	41,72	5,367	0,946	7,700
11,88	5,592	0,986	7,700	42,73	5,358	0,944	7,700
11,98	5,591	0,986	7,700	42,83	5,357	0,944	7,700
13,00	5,585	0,984	7,700	43,85	5,349	0,943	7,700
14,02	5,577	0,983	7,700	44,87	5,341	0,941	7,700
14,12	5,577	0,983	7,700	45,90	5,333	0,940	7,700
15,15	5,570	0,982	7,700	46,00	5,332	0,940	7,700
16,17	5,563	0,981	7,700	47,02	5,324	0,939	7,700
16,27	5,562	0,980	7,700	48,03	5,316	0,937	7,700
17,28	5,555	0,979	7,700	48,13	5,315	0,937	7,700
18,32	5,547	0,978	7,700	49,17	5,307	0,935	7,700
19,33	5,538	0,976	7,700	50,18	5,300	0,934	7,700
19,43	5,538	0,976	7,700	51,22	5,292	0,933	7,700
20,47	5,530	0,975	7,700	51,32	5,290	0,932	7,700
21,48	5,523	0,974	7,700	52,33	5,281	0,931	7,700
21,58	5,522	0,973	7,700	53,35	5,273	0,929	7,700
22,60	5,515	0,972	7,700	53,45	5,273	0,929	7,700
23,63	5,508	0,971	7,700	54,48	5,266	0,928	7,700
24,65	5,499	0,969	7,700	55,50	5,256	0,927	7,700
24,75	5,499	0,969	7,700	56,52	5,249	0,925	7,700
25,77	5,490	0,968	7,700	56,62	5,247	0,925	7,700
26,80	5,482	0,966	7,700	57,65	5,240	0,924	7,700
27,83	5,475	0,965	7,700	58,68	5,232	0,922	7,700
27,93	5,474	0,965	7,700	59,72	5,224	0,921	7,700
28,97	5,467	0,964	7,700	59,82	5,223	0,921	7,700
29,98	5,459	0,962	7,700	60,83	5,216	0,919	7,700

ANEXO A1

61,85	5,207	0,918	7,700	94,78	4,951	0,873	7,425
61,95	5,207	0,918	7,700	94,88	4,950	0,873	7,424
62,98	5,198	0,916	7,700	95,90	4,943	0,871	7,413
64,00	5,190	0,915	7,700	96,92	4,936	0,870	7,401
65,02	5,182	0,913	7,700	97,02	4,934	0,870	7,400
65,12	5,181	0,913	7,700	98,05	4,926	0,868	7,389
66,13	5,173	0,912	7,700	99,07	4,919	0,867	7,377
67,15	5,165	0,910	7,700	100,08	4,911	0,866	7,366
67,25	5,165	0,910	7,700	100,18	4,910	0,865	7,365
68,28	5,157	0,909	7,700	101,22	4,903	0,864	7,354
69,30	5,150	0,908	7,700	102,23	4,895	0,863	7,342
69,40	5,148	0,907	7,700	102,33	4,894	0,863	7,341
70,42	5,140	0,906	7,700	103,35	4,886	0,861	7,330
71,45	5,131	0,904	7,700	104,37	4,878	0,860	7,319
72,47	5,123	0,903	7,700	104,47	4,877	0,860	7,318
72,57	5,123	0,903	7,700	105,48	4,869	0,858	7,307
73,58	5,116	0,902	7,700	106,52	4,862	0,857	7,295
74,60	5,108	0,900	7,653	107,53	4,854	0,856	7,284
74,70	5,107	0,900	7,652	107,63	4,853	0,855	7,283
75,72	5,097	0,898	7,640	108,65	4,847	0,854	7,272
76,73	5,090	0,897	7,629	109,68	4,839	0,853	7,261
76,83	5,090	0,897	7,628	110,70	4,831	0,852	7,250
77,85	5,083	0,896	7,616	110,80	4,831	0,852	7,249
78,87	5,075	0,895	7,604	111,83	4,822	0,850	7,237
79,90	5,066	0,893	7,593	112,85	4,815	0,849	7,226
80,00	5,066	0,893	7,591	112,95	4,814	0,849	7,225
81,02	5,057	0,891	7,580	113,97	4,806	0,847	7,214
82,03	5,049	0,890	7,568	115,00	4,798	0,846	7,203
82,13	5,048	0,890	7,567	116,02	4,792	0,845	7,192
83,15	5,041	0,889	7,556	116,12	4,790	0,844	7,191
84,18	5,033	0,887	7,544	117,13	4,784	0,843	7,180
85,20	5,025	0,886	7,532	118,15	4,775	0,842	7,169
85,30	5,025	0,886	7,531	118,25	4,775	0,842	7,168
86,32	5,015	0,884	7,520	119,28	4,768	0,840	7,157
87,33	5,008	0,883	7,508	120,32	4,761	0,839	7,146
87,43	5,007	0,883	7,507	121,33	4,753	0,838	7,135
88,45	5,000	0,881	7,496	121,43	4,753	0,838	7,134
89,48	4,991	0,880	7,484	122,45	4,744	0,836	7,123
89,58	4,991	0,880	7,483	123,48	4,736	0,835	7,112
90,60	4,984	0,879	7,472	123,58	4,737	0,835	7,111
91,62	4,976	0,877	7,460	124,60	4,730	0,834	7,100
92,65	4,968	0,876	7,449	125,62	4,722	0,832	7,089
92,75	4,966	0,875	7,448	125,72	4,721	0,832	7,088
93,77	4,958	0,874	7,436	126,73	4,714	0,831	7,077

ANEXO A1

127,75	4,705	0,829	7,067	160,72	4,482	0,790	6,726
128,78	4,698	0,828	7,056	161,73	4,476	0,789	6,716
128,88	4,698	0,828	7,055	161,83	4,476	0,789	6,714
129,90	4,690	0,827	7,044	162,85	4,470	0,788	6,704
130,92	4,684	0,826	7,033	163,87	4,463	0,787	6,694
131,02	4,682	0,825	7,032	163,97	4,462	0,787	6,693
132,05	4,675	0,824	7,021	164,98	4,456	0,785	6,683
133,07	4,668	0,823	7,011	166,00	4,449	0,784	6,673
134,08	4,661	0,822	7,000	167,03	4,442	0,783	6,662
134,18	4,660	0,821	6,999	167,13	4,441	0,783	6,661
135,20	4,653	0,820	6,988	168,15	4,435	0,782	6,651
136,22	4,645	0,819	6,978	169,17	4,429	0,781	6,641
136,32	4,645	0,819	6,976	169,27	4,429	0,781	6,640
137,35	4,638	0,818	6,966	170,30	4,421	0,779	6,630
138,37	4,631	0,816	6,955	171,33	4,415	0,778	6,619
138,47	4,630	0,816	6,954	172,35	4,409	0,777	6,609
139,48	4,625	0,815	6,943	172,45	4,407	0,777	6,608
140,52	4,617	0,814	6,933	173,47	4,401	0,776	6,598
141,53	4,610	0,813	6,922	174,50	4,394	0,774	6,588
141,63	4,609	0,812	6,921	174,60	4,394	0,775	6,587
142,65	4,603	0,811	6,911	175,62	4,388	0,774	6,577
143,67	4,596	0,810	6,900	176,63	4,382	0,772	6,567
143,77	4,595	0,810	6,899	177,65	4,374	0,771	6,557
144,78	4,587	0,809	6,888	177,75	4,375	0,771	6,556
145,82	4,580	0,807	6,878	178,77	4,368	0,770	6,546
146,83	4,574	0,806	6,867	179,78	4,361	0,769	6,536
146,93	4,573	0,806	6,866	179,88	4,360	0,768	6,535
147,95	4,567	0,805	6,856	180,92	4,354	0,768	6,525
148,98	4,560	0,804	6,845	181,93	4,349	0,767	6,515
149,08	4,559	0,804	6,844	182,03	4,348	0,766	6,514
150,12	4,553	0,803	6,834	183,05	4,340	0,765	6,504
151,13	4,546	0,801	6,823	184,08	4,334	0,764	6,494
152,15	4,540	0,800	6,813	185,10	4,328	0,763	6,484
152,25	4,539	0,800	6,812	185,20	4,327	0,763	6,483
153,27	4,532	0,799	6,801	186,22	4,321	0,762	6,473
154,30	4,526	0,798	6,791	187,23	4,315	0,761	6,463
154,40	4,524	0,797	6,790	187,33	4,314	0,760	6,463
155,42	4,518	0,796	6,779	188,35	4,310	0,760	6,453
156,43	4,512	0,795	6,769	189,38	4,301	0,758	6,443
156,53	4,510	0,795	6,768	190,40	4,295	0,757	6,433
157,55	4,504	0,794	6,758	190,50	4,293	0,757	6,432
158,58	4,496	0,793	6,747	191,52	4,287	0,756	6,422
159,60	4,491	0,792	6,737	192,55	4,282	0,755	6,412
159,70	4,490	0,791	6,736	192,65	4,280	0,755	6,411

ANEXO A1

193,67	4,274	0,753	6,401	226,65	4,070	0,717	6,092
194,68	4,267	0,752	6,392	227,67	4,064	0,716	6,083
194,78	4,266	0,752	6,391	228,70	4,059	0,715	6,074
195,80	4,261	0,751	6,381	229,72	4,052	0,714	6,064
196,82	4,254	0,750	6,371	229,82	4,053	0,714	6,064
197,85	4,248	0,749	6,361	230,83	4,046	0,713	6,054
197,95	4,247	0,749	6,360	231,87	4,040	0,712	6,045
198,97	4,241	0,748	6,351	231,97	4,040	0,712	6,044
199,98	4,235	0,747	6,341	232,98	4,033	0,711	6,035
200,08	4,234	0,746	6,340	234,02	4,027	0,710	6,025
201,10	4,228	0,745	6,330	235,03	4,020	0,709	6,016
202,13	4,221	0,744	6,321	235,13	4,020	0,709	6,015
203,17	4,216	0,743	6,311	236,15	4,013	0,707	6,006
203,27	4,215	0,743	6,310	237,18	4,007	0,706	5,997
204,28	4,208	0,742	6,300	237,28	4,006	0,706	5,996
205,30	4,202	0,741	6,291	238,30	4,000	0,705	5,987
205,40	4,202	0,741	6,290	239,32	3,995	0,704	5,978
206,43	4,195	0,739	6,280	240,35	3,988	0,703	5,968
207,45	4,189	0,738	6,270	240,45	3,989	0,703	5,968
208,47	4,183	0,737	6,261	241,48	3,983	0,702	5,958
208,57	4,181	0,737	6,260	242,50	3,977	0,701	5,949
209,60	4,174	0,736	6,250	242,60	3,975	0,701	5,948
210,63	4,168	0,735	6,241	243,62	3,968	0,700	5,939
211,67	4,162	0,734	6,231	244,63	3,962	0,698	5,930
211,77	4,163	0,734	6,230	245,67	3,956	0,697	5,921
212,78	4,156	0,733	6,220	245,77	3,954	0,697	5,920
213,80	4,149	0,731	6,211	246,78	3,950	0,696	5,911
213,90	4,150	0,731	6,210	247,80	3,943	0,695	5,902
214,93	4,142	0,730	6,200	247,90	3,943	0,695	5,901
215,95	4,136	0,729	6,191	248,92	3,936	0,694	5,892
216,97	4,129	0,728	6,182	249,95	3,931	0,693	5,883
217,07	4,129	0,728	6,181	250,97	3,925	0,692	5,874
218,08	4,123	0,727	6,171	251,07	3,925	0,692	5,873
219,10	4,118	0,726	6,162	252,08	3,918	0,691	5,864
219,20	4,117	0,726	6,161	253,10	3,912	0,690	5,855
220,23	4,111	0,725	6,151	253,20	3,912	0,690	5,855
221,25	4,104	0,723	6,142	254,22	3,907	0,689	5,846
221,35	4,103	0,723	6,141	255,23	3,900	0,687	5,837
222,37	4,098	0,722	6,132	255,33	3,900	0,687	5,836
223,40	4,091	0,721	6,122	256,35	3,893	0,686	5,827
224,42	4,084	0,720	6,113	257,37	3,887	0,685	5,818
224,52	4,083	0,720	6,112	257,47	3,887	0,685	5,817
225,53	4,077	0,719	6,103	258,50	3,881	0,684	5,808
226,55	4,071	0,718	6,093	259,52	3,876	0,683	5,799

ANEXO A1

260,53	3,869	0,682	5,790	293,52	3,683	0,649	5,511
260,63	3,869	0,682	5,790	293,62	3,683	0,649	5,510
261,67	3,863	0,681	5,781	294,65	3,677	0,648	5,502
262,72	3,857	0,680	5,772	295,67	3,671	0,647	5,493
263,73	3,851	0,679	5,763	296,68	3,663	0,646	5,485
263,83	3,850	0,679	5,762	296,78	3,663	0,646	5,484
264,85	3,844	0,678	5,753	297,82	3,658	0,645	5,476
265,87	3,838	0,677	5,744	298,83	3,653	0,644	5,467
265,97	3,838	0,676	5,743	298,93	3,651	0,644	5,466
266,98	3,831	0,675	5,735	299,95	3,645	0,643	5,458
268,00	3,826	0,674	5,726	300,98	3,640	0,642	5,450
268,10	3,824	0,674	5,725	302,00	3,636	0,641	5,441
269,12	3,819	0,673	5,716	302,10	3,634	0,641	5,440
270,13	3,814	0,672	5,708	303,13	3,629	0,640	5,432
270,23	3,813	0,672	5,707	304,15	3,623	0,639	5,424
271,27	3,806	0,671	5,698	304,25	3,623	0,639	5,423
272,30	3,800	0,670	5,689	305,27	3,616	0,637	5,415
273,32	3,793	0,669	5,681	306,30	3,611	0,636	5,406
273,42	3,794	0,669	5,680	307,32	3,604	0,635	5,398
274,43	3,787	0,668	5,671	307,42	3,606	0,636	5,397
275,47	3,782	0,667	5,662	308,43	3,599	0,634	5,389
276,48	3,777	0,666	5,654	309,45	3,592	0,633	5,381
276,58	3,776	0,666	5,653	309,55	3,591	0,633	5,380
277,60	3,771	0,665	5,644	310,57	3,587	0,632	5,372
278,62	3,764	0,664	5,636	311,60	3,582	0,631	5,364
278,72	3,763	0,663	5,635	312,62	3,577	0,631	5,355
279,73	3,758	0,662	5,626	312,72	3,576	0,630	5,355
280,77	3,752	0,661	5,617	313,73	3,571	0,630	5,346
280,87	3,753	0,662	5,617	314,77	3,564	0,628	5,338
281,88	3,746	0,660	5,608	314,87	3,562	0,628	5,337
282,90	3,741	0,659	5,599	315,88	3,557	0,627	5,329
283,93	3,735	0,658	5,591	316,90	3,552	0,626	5,321
284,03	3,735	0,658	5,590	317,00	3,552	0,626	5,320
285,05	3,728	0,657	5,581	318,02	3,545	0,625	5,312
286,07	3,722	0,656	5,573	319,03	3,541	0,624	5,304
286,17	3,723	0,656	5,572	320,07	3,535	0,623	5,296
287,18	3,717	0,655	5,564	320,17	3,534	0,623	5,295
288,20	3,713	0,654	5,555	321,18	3,528	0,622	5,287
288,30	3,711	0,654	5,554	322,20	3,522	0,621	5,279
289,33	3,704	0,653	5,546	322,30	3,522	0,621	5,278
290,35	3,698	0,652	5,537	323,33	3,517	0,620	5,270
291,37	3,695	0,651	5,529	324,37	3,512	0,619	5,262
291,47	3,692	0,651	5,528	325,38	3,504	0,618	5,254
292,50	3,687	0,650	5,519	325,48	3,505	0,618	5,253

ANEXO A1

326,50	3,500	0,617	5,245	343,55	3,405	0,600	5,113
327,52	3,493	0,616	5,237	344,57	3,400	0,599	5,105
327,62	3,493	0,616	5,236	345,60	3,394	0,598	5,097
328,65	3,488	0,615	5,228	346,62	3,389	0,597	5,089
329,67	3,480	0,613	5,220	346,72	3,387	0,597	5,088
330,68	3,475	0,612	5,212	347,73	3,382	0,596	5,081
330,78	3,475	0,612	5,211	348,75	3,376	0,595	5,073
331,80	3,469	0,611	5,203	348,85	3,377	0,595	5,072
332,83	3,463	0,610	5,195	349,87	3,371	0,594	5,064
332,93	3,462	0,610	5,195	350,90	3,365	0,593	5,056
333,97	3,458	0,609	5,187	351,00	3,365	0,593	5,056
334,98	3,452	0,608	5,179	352,02	3,360	0,592	5,048
336,00	3,445	0,607	5,171	353,03	3,354	0,591	5,040
336,10	3,445	0,607	5,170	354,07	3,348	0,590	5,033
337,13	3,439	0,606	5,162	354,17	3,349	0,590	5,032
338,15	3,434	0,605	5,154	355,18	3,343	0,589	5,024
338,25	3,433	0,605	5,153	356,20	3,337	0,588	5,016
339,27	3,427	0,604	5,145	356,30	3,337	0,588	5,016
340,28	3,422	0,603	5,138	357,32	3,331	0,587	5,008
340,38	3,421	0,603	5,137	358,33	3,326	0,586	5,000
341,40	3,416	0,602	5,129	358,43	3,326	0,586	5,000
342,43	3,411	0,601	5,121	359,47	3,321	0,585	4,992
343,45	3,405	0,600	5,113	360,43	3,315	0,584	4,985

ANEXO A2

DADOS DE SECAGEM DE ABACAXI (*Smooth Cayenne*) EM
ATMOSFERAS NORMAL E MODIFICADA COM 0,5% (V/V)
DE ETANOL

Tabela A2.1. Dados de secagem do abacaxi: 40°C – 0,42 m/s – atmosfera normal
(Experimento 1)

Tempo (min)	X (g umidade/ g sólido seco)	X/ X ₀	- dX/ dt (10 ³ g umidade/ g sólido seco/ min)				
				104,77	4,061	0,857	4,903
				106,97	4,048	0,854	4,891
0,00	4,738	1,000	5,560	110,12	4,031	0,851	4,872
1,63	4,726	0,997	5,549	113,27	4,015	0,847	4,854
3,82	4,709	0,994	5,535	116,45	3,999	0,844	4,835
4,88	4,702	0,992	5,528	119,63	3,982	0,840	4,817
7,00	4,685	0,989	5,514	127,08	3,944	0,832	4,774
9,10	4,669	0,986	5,500	132,38	3,916	0,827	4,744
11,25	4,653	0,982	5,486	137,77	3,890	0,821	4,713
13,40	4,637	0,979	5,472	141,95	3,870	0,817	4,689
15,55	4,621	0,975	5,458	147,30	3,845	0,811	4,659
17,63	4,605	0,972	5,444	152,58	3,818	0,806	4,630
19,75	4,589	0,968	5,430	156,92	3,796	0,801	4,606
20,90	4,581	0,967	5,423	162,13	3,772	0,796	4,577
22,98	4,566	0,964	5,409	167,42	3,748	0,791	4,548
25,07	4,552	0,961	5,396	172,78	3,722	0,786	4,519
27,18	4,537	0,958	5,382	177,05	3,702	0,781	4,496
29,32	4,522	0,954	5,368	182,30	3,678	0,776	4,468
34,62	4,485	0,947	5,334	186,67	3,660	0,772	4,444
36,83	4,470	0,943	5,320	191,93	3,636	0,767	4,416
39,95	4,449	0,939	5,300	197,23	3,613	0,762	4,388
43,13	4,428	0,935	5,280	202,53	3,590	0,758	4,361
46,32	4,407	0,930	5,260	207,80	3,568	0,753	4,333
49,47	4,387	0,926	5,240	212,12	3,548	0,749	4,311
52,67	4,366	0,921	5,220	217,43	3,526	0,744	4,283
54,85	4,352	0,918	5,206	222,70	3,504	0,739	4,256
58,02	4,332	0,914	5,186	227,00	3,486	0,736	4,234
61,20	4,312	0,910	5,167	232,23	3,465	0,731	4,208
64,40	4,291	0,906	5,147	236,62	3,447	0,727	4,186
67,55	4,272	0,902	5,127	241,88	3,425	0,723	4,160
70,77	4,252	0,897	5,108	247,20	3,403	0,718	4,133
72,93	4,239	0,895	5,094	252,50	3,382	0,714	4,107
77,12	4,215	0,890	5,069	257,82	3,361	0,709	4,081
80,30	4,196	0,886	5,050	262,08	3,344	0,706	4,060
83,52	4,179	0,882	5,030	267,38	3,324	0,701	4,034
86,72	4,160	0,878	5,011	272,67	3,303	0,697	4,009
88,87	4,148	0,875	4,998	276,98	3,287	0,694	3,988
92,02	4,132	0,872	4,979	282,23	3,266	0,689	3,963
95,22	4,113	0,868	4,960	287,58	3,246	0,685	3,938
98,38	4,096	0,865	4,941	291,87	3,230	0,682	3,917
101,58	4,077	0,861	4,922	297,10	3,212	0,678	3,893

ANEXO A2

302,42	3,192	0,674	3,868	460,83	2,661	0,562	3,198
310,95	3,159	0,667	3,829	472,42	2,629	0,555	3,154
321,52	3,123	0,659	3,780	481,98	2,599	0,549	3,118
333,20	3,080	0,650	3,728	497,93	2,554	0,539	3,059
342,80	3,047	0,643	3,685	513,85	2,505	0,529	3,001
352,42	3,015	0,636	3,643	527,68	2,469	0,521	2,952
361,88	2,982	0,629	3,602	542,53	2,427	0,512	2,900
371,45	2,950	0,623	3,561	557,47	2,386	0,504	2,848
382,10	2,914	0,615	3,515	572,33	2,351	0,496	2,798
392,73	2,879	0,608	3,471	587,25	2,313	0,488	2,748
402,35	2,849	0,601	3,431	602,08	2,275	0,480	2,700
412,93	2,813	0,594	3,388	617,00	2,239	0,472	2,652
422,50	2,782	0,587	3,349	632,87	2,202	0,465	2,602
432,15	2,751	0,581	3,310	647,77	2,167	0,457	2,556
442,67	2,718	0,574	3,269	660,50	2,138	0,451	2,517
451,27	2,692	0,568	3,235				

Tabela A2.2. Dados de secagem do abacaxi: 40°C – 0,42 m/s – atmosfera modificada com 0,5% (v/v) de etanol (Experimento 2)

Tempo (min)	X (g umidade/ g sólido seco)	X/ X ₀	- dX/ dt (10 ³ g umidade/ g sólido seco/ min)				
				103,43	4,018	0,848	5,600
				105,62	4,003	0,845	5,583
0,00	4,738	1,000	6,473	108,78	3,983	0,841	5,558
2,50	4,734	0,999	6,450	111,98	3,962	0,836	5,533
4,63	4,715	0,995	6,431	115,17	3,942	0,832	5,509
6,73	4,695	0,991	6,412	118,32	3,922	0,828	5,485
8,93	4,675	0,987	6,392	120,52	3,908	0,825	5,468
11,08	4,656	0,983	6,373	123,65	3,889	0,821	5,444
13,17	4,640	0,979	6,354	126,85	3,869	0,817	5,419
15,28	4,621	0,975	6,336	133,17	3,831	0,809	5,372
17,38	4,604	0,972	6,317	137,43	3,805	0,803	5,340
19,47	4,588	0,968	6,299	141,70	3,780	0,798	5,308
20,65	4,578	0,966	6,288	147,00	3,749	0,791	5,269
22,68	4,563	0,963	6,270	152,38	3,718	0,785	5,229
24,82	4,547	0,960	6,252	156,63	3,694	0,780	5,198
26,93	4,531	0,956	6,233	161,90	3,663	0,773	5,160
29,03	4,516	0,953	6,215	167,22	3,635	0,767	5,122
31,20	4,499	0,950	6,196	171,55	3,610	0,762	5,091
33,33	4,485	0,947	6,178	176,78	3,582	0,756	5,054
35,43	4,470	0,943	6,159	182,10	3,552	0,750	5,016
36,55	4,462	0,942	6,150	187,37	3,525	0,744	4,979
39,67	4,441	0,937	6,123	191,68	3,501	0,739	4,949
42,90	4,419	0,933	6,095	196,97	3,474	0,733	4,913
46,07	4,397	0,928	6,068	202,32	3,445	0,727	4,876
49,23	4,376	0,924	6,042	206,62	3,423	0,722	4,847
52,43	4,354	0,919	6,015	211,87	3,398	0,717	4,811
54,62	4,340	0,916	5,996	217,22	3,370	0,711	4,775
57,77	4,319	0,912	5,970	222,45	3,343	0,706	4,741
60,93	4,299	0,907	5,943	226,75	3,323	0,701	4,712
64,12	4,278	0,903	5,917	232,02	3,297	0,696	4,677
67,33	4,257	0,899	5,890	237,35	3,271	0,690	4,643
71,58	4,230	0,893	5,855	242,62	3,246	0,685	4,609
75,87	4,203	0,887	5,820	246,93	3,225	0,681	4,581
79,00	4,182	0,883	5,795	252,23	3,201	0,676	4,547
82,20	4,160	0,878	5,769	256,55	3,182	0,672	4,520
85,37	4,138	0,873	5,743	261,80	3,158	0,667	4,486
87,58	4,123	0,870	5,726	267,12	3,135	0,662	4,453
90,75	4,101	0,866	5,700	272,37	3,114	0,657	4,421
93,90	4,080	0,861	5,675	276,68	3,096	0,654	4,394
97,05	4,059	0,857	5,650	281,00	3,079	0,650	4,367
100,27	4,039	0,852	5,625	287,27	3,054	0,645	4,329

ANEXO A2

291,62	3,037	0,641	4,303	446,72	2,515	0,531	3,463
296,88	3,017	0,637	4,271	456,25	2,486	0,525	3,417
302,20	2,997	0,632	4,240	465,88	2,459	0,519	3,371
306,50	2,981	0,629	4,214	477,53	2,425	0,512	3,317
317,05	2,942	0,621	4,153	487,10	2,397	0,506	3,273
326,70	2,908	0,614	4,097	500,92	2,360	0,498	3,210
336,17	2,874	0,607	4,043	516,88	2,317	0,489	3,139
345,80	2,840	0,599	3,989	531,72	2,278	0,481	3,075
356,45	2,803	0,592	3,930	545,60	2,243	0,473	3,015
368,02	2,764	0,583	3,867	562,52	2,200	0,464	2,945
377,63	2,733	0,577	3,815	577,37	2,164	0,457	2,884
387,15	2,701	0,570	3,764	592,32	2,128	0,449	2,825
395,73	2,673	0,564	3,719	606,13	2,096	0,442	2,770
406,40	2,640	0,557	3,664	622,13	2,059	0,435	2,709
417,03	2,605	0,550	3,610	636,95	2,025	0,427	2,653
427,57	2,573	0,543	3,557	651,87	1,993	0,421	2,599
437,20	2,543	0,537	3,510	660,27	1,974	0,417	2,568

Tabela A2.3. Dados de secagem do abacaxi: 60°C – 0,42 m/s – atmosfera normal
(Experimento 3)

Tempo (min)	X (g umidade/ g sólido seco)	X/ X ₀	- dX/ dt (10 ³ g umidade/ g sólido seco/ min)				
				91,70	3,775	0,762	10,993
				94,85	3,741	0,756	10,893
0,00	4,951	1,000	13,100	98,08	3,704	0,748	10,791
1,32	4,936	0,997	13,100	100,22	3,680	0,743	10,725
3,50	4,913	0,992	13,100	103,38	3,645	0,736	10,627
5,65	4,889	0,988	13,100	106,57	3,610	0,729	10,529
7,82	4,864	0,983	13,100	112,98	3,540	0,715	10,335
9,85	4,840	0,978	13,100	116,12	3,506	0,708	10,242
11,97	4,812	0,972	13,100	118,32	3,484	0,704	10,176
14,08	4,784	0,966	13,100	121,50	3,453	0,697	10,083
16,25	4,755	0,960	13,100	124,67	3,419	0,690	9,991
17,30	4,740	0,957	13,100	127,80	3,387	0,684	9,900
19,43	4,713	0,952	13,100	131,05	3,354	0,678	9,807
21,55	4,683	0,946	13,100	133,22	3,332	0,673	9,746
23,68	4,655	0,940	13,100	136,35	3,302	0,667	9,658
25,82	4,625	0,934	13,100	139,50	3,270	0,661	9,570
27,93	4,595	0,928	13,100	142,68	3,241	0,655	9,482
30,05	4,566	0,922	13,100	145,85	3,209	0,648	9,395
32,15	4,536	0,916	13,100	149,07	3,179	0,642	9,308
33,30	4,518	0,913	13,100	152,32	3,149	0,636	9,221
35,38	4,490	0,907	12,943	155,45	3,119	0,630	9,137
37,50	4,462	0,901	12,864	158,65	3,090	0,624	9,053
39,58	4,433	0,895	12,787	161,85	3,062	0,618	8,969
41,73	4,404	0,889	12,707	165,02	3,032	0,612	8,887
43,88	4,376	0,884	12,628	167,23	3,013	0,609	8,831
46,00	4,345	0,878	12,551	170,40	2,984	0,603	8,750
48,08	4,320	0,873	12,475	173,58	2,958	0,597	8,669
51,32	4,275	0,864	12,359	176,73	2,929	0,592	8,591
53,40	4,248	0,858	12,284	179,92	2,902	0,586	8,512
55,57	4,219	0,852	12,207	183,10	2,876	0,581	8,433
57,68	4,192	0,847	12,133	185,22	2,858	0,577	8,382
59,82	4,166	0,841	12,058	188,37	2,831	0,572	8,306
61,95	4,138	0,836	11,984	193,73	2,786	0,563	8,177
64,07	4,110	0,830	11,910	198,98	2,744	0,554	8,054
66,15	4,083	0,825	11,838	203,30	2,709	0,547	7,954
70,43	4,031	0,814	11,692	208,57	2,670	0,539	7,833
73,67	3,991	0,806	11,583	212,92	2,636	0,533	7,735
76,80	3,953	0,798	11,478	218,18	2,595	0,524	7,618
80,02	3,915	0,791	11,372	223,45	2,555	0,516	7,502
82,20	3,889	0,786	11,300	228,78	2,517	0,508	7,387
88,50	3,814	0,770	11,095	234,07	2,478	0,501	7,275

ANEXO A2

238,32	2,450	0,495	7,186	378,63	1,646	0,332	4,783
243,65	2,414	0,488	7,075	389,20	1,596	0,322	4,639
248,95	2,376	0,480	6,967	398,77	1,553	0,314	4,512
253,27	2,348	0,474	6,881	408,32	1,512	0,305	4,389
258,52	2,312	0,467	6,777	418,00	1,470	0,297	4,267
263,82	2,278	0,460	6,673	428,62	1,427	0,288	4,138
269,15	2,244	0,453	6,571	439,23	1,382	0,279	4,012
273,47	2,216	0,448	6,489	448,75	1,344	0,271	3,903
277,68	2,188	0,442	6,410	458,27	1,308	0,264	3,797
284,05	2,150	0,434	6,293	467,88	1,271	0,257	3,693
288,33	2,124	0,429	6,215	478,53	1,231	0,249	3,580
293,60	2,092	0,423	6,121	489,15	1,191	0,241	3,472
298,92	2,062	0,416	6,027	498,75	1,158	0,234	3,376
303,22	2,037	0,411	5,953	509,27	1,120	0,226	3,275
308,48	2,006	0,405	5,863	517,80	1,093	0,221	3,195
313,82	1,976	0,399	5,773	527,47	1,061	0,214	3,107
319,05	1,949	0,394	5,686	539,05	1,024	0,207	3,004
323,35	1,924	0,389	5,615	548,67	0,993	0,200	2,921
328,67	1,896	0,383	5,529	562,50	0,952	0,192	2,807
333,98	1,867	0,377	5,445	578,35	0,906	0,183	2,680
338,22	1,846	0,373	5,378	594,33	0,862	0,174	2,559
343,58	1,818	0,367	5,295	609,17	0,822	0,166	2,451
348,83	1,790	0,362	5,215	624,03	0,783	0,158	2,348
354,12	1,763	0,356	5,136	637,95	0,748	0,151	2,255
358,43	1,743	0,352	5,072	653,90	0,708	0,143	2,153
363,78	1,715	0,346	4,994	660,17	0,695	0,140	2,114
369,00	1,690	0,341	4,919				

Tabela A2.4. Dados de secagem do abacaxi: 60°C – 0,42 m/s – atmosfera modificada com 0,5% (v/v) de etanol (Experimento 4)

Tempo (min)	X (g umidade/ g sólido seco)	X/ X ₀	- dX/ dt (10 ³ g umidade/ g sólido seco/ min)				
				87,37	3,960	0,800	11,037
				89,55	3,932	0,794	10,970
0,00	4,951	1,000	12,100	92,73	3,896	0,787	10,873
1,30	4,943	0,998	12,100	95,88	3,859	0,779	10,777
2,43	4,937	0,997	12,100	99,12	3,826	0,773	10,680
4,57	4,928	0,995	12,100	102,33	3,791	0,766	10,584
6,70	4,914	0,992	12,100	104,48	3,769	0,761	10,521
8,82	4,898	0,989	12,100	107,63	3,733	0,754	10,428
10,95	4,884	0,986	12,100	110,77	3,702	0,748	10,337
13,07	4,865	0,983	12,100	114,00	3,667	0,741	10,244
15,20	4,844	0,978	12,100	117,15	3,633	0,734	10,154
17,28	4,826	0,975	12,100	120,35	3,601	0,727	10,063
19,38	4,801	0,970	12,100	122,55	3,577	0,723	10,002
20,50	4,790	0,968	12,100	125,67	3,546	0,716	9,915
22,58	4,768	0,963	12,100	128,87	3,512	0,709	9,826
24,72	4,742	0,958	12,100	132,08	3,479	0,703	9,738
26,83	4,719	0,953	12,100	135,25	3,445	0,696	9,652
28,97	4,691	0,948	12,100	138,38	3,415	0,690	9,568
31,12	4,665	0,942	12,100	140,57	3,394	0,685	9,510
33,22	4,637	0,937	12,100	143,73	3,361	0,679	9,426
35,33	4,610	0,931	12,100	146,93	3,329	0,672	9,342
36,48	4,595	0,928	12,100	150,10	3,298	0,666	9,259
38,60	4,568	0,923	12,100	153,28	3,268	0,660	9,177
40,70	4,541	0,917	12,100	161,78	3,189	0,644	8,961
42,77	4,511	0,911	12,100	165,03	3,162	0,639	8,880
44,92	4,484	0,906	12,100	168,25	3,131	0,633	8,800
47,02	4,458	0,900	12,100	171,40	3,104	0,627	8,723
49,13	4,429	0,895	12,100	173,55	3,086	0,623	8,671
51,28	4,401	0,889	12,100	176,67	3,058	0,618	8,595
53,37	4,375	0,884	12,100	179,87	3,031	0,612	8,519
55,50	4,347	0,878	12,067	183,03	3,004	0,607	8,444
58,70	4,306	0,870	11,960	193,65	2,922	0,590	8,196
60,83	4,278	0,864	11,888	199,07	2,880	0,582	8,073
62,95	4,251	0,859	11,818	204,27	2,842	0,574	7,956
66,13	4,212	0,851	11,713	208,53	2,809	0,567	7,862
69,35	4,173	0,843	11,608	213,87	2,770	0,560	7,745
71,52	4,146	0,837	11,538	219,18	2,731	0,552	7,631
74,62	4,108	0,830	11,438	223,43	2,699	0,545	7,540
77,88	4,070	0,822	11,334	228,75	2,661	0,537	7,429
81,03	4,031	0,814	11,235	234,03	2,623	0,530	7,320
84,20	3,994	0,807	11,135	239,33	2,584	0,522	7,212

ANEXO A2

248,93	2,524	0,510	7,021	387,07	1,751	0,354	4,769
258,52	2,462	0,497	6,835	397,70	1,700	0,343	4,629
263,82	2,428	0,490	6,734	409,45	1,645	0,332	4,479
269,17	2,396	0,484	6,634	419,03	1,603	0,324	4,361
274,40	2,363	0,477	6,538	429,62	1,555	0,314	4,233
278,70	2,335	0,472	6,459	439,18	1,516	0,306	4,121
284,03	2,304	0,465	6,364	448,75	1,475	0,298	4,012
289,28	2,271	0,459	6,271	459,35	1,434	0,290	3,895
293,57	2,245	0,453	6,196	468,98	1,395	0,282	3,791
298,87	2,214	0,447	6,105	479,53	1,354	0,273	3,681
304,18	2,184	0,441	6,015	489,12	1,317	0,266	3,584
308,47	2,159	0,436	5,943	498,65	1,282	0,259	3,489
313,75	2,129	0,430	5,856	509,25	1,243	0,251	3,387
319,10	2,099	0,424	5,769	518,83	1,208	0,244	3,297
324,35	2,070	0,418	5,684	527,42	1,176	0,238	3,219
328,62	2,047	0,413	5,617	544,33	1,120	0,226	3,070
333,95	2,018	0,408	5,534	559,28	1,072	0,217	2,944
339,28	1,989	0,402	5,452	574,10	1,022	0,206	2,825
343,50	1,967	0,397	5,388	588,97	0,976	0,197	2,710
348,85	1,940	0,392	5,307	602,87	0,937	0,189	2,606
354,17	1,913	0,386	5,229	617,77	0,894	0,181	2,500
358,47	1,891	0,382	5,166	633,58	0,849	0,172	2,391
363,75	1,864	0,377	5,091	648,52	0,809	0,163	2,293
375,45	1,807	0,365	4,927	660,15	0,779	0,157	2,220

Tabela A2.5. Dados de secagem do abacaxi: 40°C – 0,84 m/s – atmosfera normal
(Experimento 5)

Tempo (min)	X (g umidade/ g sólido seco)	X/ Xo	- dX/ dt (10 ³ g umidade/ g sólido seco/ min)				
				134,23	3,958	0,814	5,895
				139,55	3,924	0,807	5,849
0,00	4,860	1,000		143,82	3,899	0,802	5,811
6,73	4,856	0,999	6,900	149,07	3,864	0,795	5,766
8,80	4,841	0,996	6,900	154,42	3,833	0,789	5,720
10,90	4,827	0,993	6,900	158,72	3,805	0,783	5,683
10,92	4,827	0,993	6,900	168,20	3,749	0,771	5,603
14,12	4,809	0,990	6,900	173,58	3,719	0,765	5,557
17,32	4,786	0,985	6,900	178,85	3,687	0,759	5,514
20,52	4,762	0,980	6,900	184,18	3,658	0,753	5,470
22,67	4,746	0,977	6,900	189,52	3,628	0,746	5,426
25,85	4,724	0,972	6,900	193,75	3,605	0,742	5,392
28,98	4,701	0,967	6,900	199,05	3,575	0,736	5,349
32,20	4,676	0,962	6,900	204,37	3,546	0,730	5,307
35,40	4,652	0,957	6,837	209,62	3,522	0,725	5,265
38,58	4,627	0,952	6,805	213,88	3,496	0,719	5,231
40,78	4,613	0,949	6,782	219,22	3,466	0,713	5,190
43,92	4,587	0,944	6,751	224,58	3,439	0,708	5,148
47,07	4,565	0,939	6,719	228,87	3,417	0,703	5,115
50,25	4,541	0,934	6,687	234,08	3,388	0,697	5,075
53,48	4,516	0,929	6,654	239,38	3,362	0,692	5,035
55,67	4,500	0,926	6,633	243,73	3,340	0,687	5,002
58,83	4,478	0,921	6,601	248,98	3,310	0,681	4,963
61,97	4,452	0,916	6,570	254,30	3,283	0,675	4,924
65,13	4,431	0,912	6,539	259,57	3,256	0,670	4,885
68,32	4,406	0,906	6,508	263,88	3,236	0,666	4,853
71,50	4,385	0,902	6,477	269,13	3,209	0,660	4,815
73,73	4,366	0,898	6,455	274,47	3,183	0,655	4,777
76,83	4,344	0,894	6,425	278,75	3,163	0,651	4,746
80,00	4,323	0,889	6,395	284,07	3,138	0,646	4,709
83,20	4,299	0,885	6,364	289,35	3,111	0,640	4,672
86,40	4,275	0,879	6,334	294,65	3,086	0,635	4,635
89,57	4,255	0,875	6,304	299,00	3,066	0,631	4,604
93,80	4,226	0,869	6,264	304,25	3,042	0,626	4,568
99,12	4,189	0,862	6,214	309,58	3,018	0,621	4,532
104,50	4,152	0,854	6,164	313,85	2,997	0,617	4,503
108,78	4,125	0,849	6,125	319,12	2,973	0,612	4,468
114,05	4,088	0,841	6,077	324,43	2,950	0,607	4,432
119,42	4,053	0,834	6,028	328,73	2,932	0,603	4,404
124,65	4,018	0,827	5,981	339,30	2,886	0,594	4,334
128,92	3,992	0,821	5,943	348,90	2,844	0,585	4,272

ANEXO A2

359,48	2,798	0,576	4,205	518,97	2,209	0,455	3,310
370,07	2,752	0,566	4,139	529,52	2,171	0,447	3,258
379,73	2,713	0,558	4,079	540,12	2,144	0,441	3,207
390,28	2,672	0,550	4,015	549,77	2,114	0,435	3,161
398,88	2,638	0,543	3,964	560,28	2,075	0,427	3,111
409,43	2,595	0,534	3,902	568,92	2,054	0,423	3,071
420,03	2,557	0,526	3,840	580,55	2,019	0,415	3,018
430,63	2,515	0,518	3,779	591,10	1,987	0,409	2,971
440,23	2,477	0,510	3,725	599,70	1,963	0,404	2,933
449,80	2,442	0,502	3,672	609,22	1,934	0,398	2,891
460,42	2,403	0,494	3,614	619,80	1,905	0,392	2,846
470,02	2,371	0,488	3,563	629,48	1,876	0,386	2,805
479,65	2,340	0,481	3,511	638,93	1,848	0,380	2,765
489,18	2,305	0,474	3,462	649,57	1,819	0,374	2,721
499,78	2,269	0,467	3,407	659,23	1,793	0,369	2,682
510,33	2,235	0,460	3,354	660,17	1,794	0,369	2,679

Tabela A2.6. Dados de secagem do abacaxi: 40°C – 0,84 m/s – atmosfera modificada com 0,5% (v/v) de etanol (Experimento 6)

Tempo (min)	X (g umidade/ g sólido seco)	X/ Xo	- dX/ dt (10 ³ g umidade/ g sólido seco/ min)				
				190,12	3,509	0,722	6,344
				200,72	3,444	0,709	6,224
0,00	4,860	1,000	7,900	211,32	3,378	0,695	6,106
1,97	4,857	0,999	7,900	220,92	3,320	0,683	6,002
5,18	4,858	0,999	7,900	230,52	3,262	0,671	5,899
10,48	4,841	0,996	7,900	240,12	3,205	0,659	5,798
15,83	4,818	0,991	7,900	250,75	3,143	0,647	5,688
20,12	4,797	0,987	7,900	260,30	3,087	0,635	5,591
25,40	4,759	0,979	7,900	271,88	3,020	0,621	5,476
30,75	4,720	0,971	7,900	281,48	2,967	0,610	5,382
35,00	4,685	0,964	7,900	290,13	2,922	0,601	5,299
40,25	4,643	0,955	7,900	300,60	2,864	0,589	5,200
45,57	4,597	0,946	7,900	311,23	2,807	0,578	5,101
55,18	4,515	0,929	7,900	320,82	2,757	0,567	5,014
60,47	4,469	0,919	7,900	330,38	2,708	0,557	4,928
65,77	4,424	0,910	7,900	340,00	2,660	0,547	4,844
70,07	4,388	0,903	7,900	350,63	2,610	0,537	4,752
75,33	4,343	0,894	7,800	361,13	2,564	0,528	4,663
80,70	4,297	0,884	7,725	375,02	2,500	0,514	4,548
85,97	4,255	0,875	7,652	390,98	2,430	0,500	4,419
90,27	4,220	0,868	7,593	405,80	2,369	0,487	4,303
95,55	4,176	0,859	7,521	420,72	2,306	0,474	4,189
100,82	4,132	0,850	7,450	436,58	2,241	0,461	4,071
105,13	4,099	0,843	7,392	451,47	2,183	0,449	3,963
110,42	4,058	0,835	7,322	465,37	2,130	0,438	3,865
115,78	4,023	0,828	7,252	480,28	2,072	0,426	3,763
120,05	3,988	0,820	7,196	496,12	2,013	0,414	3,657
125,33	3,949	0,812	7,128	511,02	1,959	0,403	3,560
130,68	3,910	0,804	7,060	525,87	1,907	0,392	3,466
135,95	3,871	0,797	6,993	539,72	1,860	0,383	3,381
140,20	3,842	0,790	6,940	555,60	1,806	0,372	3,286
145,43	3,805	0,783	6,875	571,58	1,755	0,361	3,193
150,78	3,769	0,775	6,809	585,38	1,711	0,352	3,114
155,07	3,740	0,770	6,757	600,25	1,664	0,342	3,032
160,32	3,704	0,762	6,693	615,23	1,619	0,333	2,951
165,67	3,667	0,754	6,629	631,08	1,572	0,324	2,868
170,00	3,639	0,749	6,578	646,02	1,528	0,314	2,792
175,27	3,606	0,742	6,516	659,87	1,490	0,307	2,723
180,57	3,571	0,735	6,454				

Tabela A2.7. Dados de secagem do abacaxi: 60°C – 0,84 m/s – atmosfera normal
(Experimento 7)

Tempo (min)	X (g umidade/ g sólido seco)	X/ X ₀	- dX/ dt (10 ³ g umidade/ g sólido seco/ min)				
				130,28	3,435	0,698	9,349
				134,60	3,399	0,691	9,241
0,00	4,919	1,000	12,300	139,85	3,350	0,681	9,111
1,67	4,903	0,997	12,300	145,18	3,300	0,671	8,981
3,88	4,883	0,993	12,300	150,47	3,251	0,661	8,853
5,97	4,865	0,989	12,300	154,73	3,216	0,654	8,752
8,10	4,842	0,984	12,300	160,07	3,171	0,645	8,627
10,23	4,816	0,979	12,300	165,30	3,128	0,636	8,506
12,38	4,788	0,974	12,300	169,58	3,090	0,628	8,408
14,50	4,763	0,968	12,300	174,93	3,045	0,619	8,287
15,58	4,748	0,965	12,300	180,18	3,003	0,611	8,171
17,72	4,719	0,959	12,300	189,75	2,927	0,595	7,963
19,83	4,689	0,953	12,300	200,48	2,845	0,578	7,735
21,93	4,662	0,948	12,300	211,03	2,761	0,561	7,518
24,07	4,634	0,942	12,300	220,58	2,697	0,548	7,326
26,22	4,605	0,936	12,300	230,15	2,623	0,533	7,140
28,33	4,575	0,930	12,300	239,77	2,558	0,520	6,957
30,43	4,543	0,924	12,242	251,38	2,475	0,503	6,742
32,57	4,516	0,918	12,172	259,90	2,422	0,492	6,589
35,70	4,475	0,910	12,069	270,57	2,352	0,478	6,402
38,90	4,430	0,901	11,966	280,15	2,293	0,466	6,238
42,10	4,386	0,892	11,863	289,72	2,232	0,454	6,079
45,25	4,340	0,882	11,762	300,28	2,169	0,441	5,908
48,47	4,305	0,875	11,661	309,90	2,112	0,429	5,757
50,63	4,279	0,870	11,592	319,52	2,059	0,419	5,609
53,78	4,238	0,862	11,494	331,15	1,998	0,406	5,436
56,95	4,202	0,854	11,396	340,70	1,946	0,396	5,297
60,13	4,160	0,846	11,299	350,32	1,899	0,386	5,161
65,52	4,099	0,833	11,136	359,78	1,847	0,376	5,031
69,72	4,048	0,823	11,010	375,70	1,773	0,360	4,820
75,08	3,993	0,812	10,852	389,65	1,706	0,347	4,641
80,32	3,929	0,799	10,700	405,58	1,634	0,332	4,446
84,62	3,884	0,790	10,576	420,35	1,569	0,319	4,272
89,93	3,829	0,778	10,425	434,28	1,511	0,307	4,114
95,23	3,772	0,767	10,277	451,15	1,440	0,293	3,931
99,55	3,726	0,758	10,158	465,10	1,386	0,282	3,786
104,75	3,674	0,747	10,017	478,90	1,337	0,272	3,647
109,12	3,630	0,738	9,899	494,80	1,275	0,259	3,494
115,42	3,575	0,727	9,732	510,72	1,219	0,248	3,347
119,68	3,533	0,718	9,621	525,67	1,170	0,238	3,215
124,98	3,485	0,709	9,484	539,48	1,122	0,228	3,097

ANEXO A2

555,30	1,071	0,218	2,968	615,87	0,899	0,183	2,520
571,25	1,025	0,208	2,843	630,75	0,862	0,175	2,421
585,12	0,984	0,200	2,738	644,62	0,825	0,168	2,332
598,90	0,945	0,192	2,638	659,53	0,792	0,161	2,240

Tabela A2.8. Dados de secagem do abacaxi: 60°C – 0,84 m/s – atmosfera modificada com 0,5% (v/v) de etanol (Experimento 8)

Tempo (min)	X (g umidade/ g sólido seco)	X/ X ₀	- dX/ dt (10 ³ g umidade/ g sólido seco/ min)	157,13	3,150	0,640	9,179
				161,47	3,110	0,632	9,065
0,00	4,919	1,000	12,400	166,73	3,061	0,622	8,927
3,18	4,878	0,992	12,400	172,03	3,014	0,613	8,791
6,33	4,853	0,987	12,400	176,30	2,977	0,605	8,683
9,48	4,823	0,980	12,400	181,65	2,930	0,596	8,549
12,68	4,788	0,973	12,400	186,90	2,885	0,587	8,420
15,85	4,750	0,966	12,400	196,50	2,805	0,570	8,189
19,07	4,711	0,958	12,400	206,10	2,726	0,554	7,964
21,23	4,687	0,953	12,400	215,65	2,652	0,539	7,747
24,38	4,644	0,944	12,400	226,32	2,570	0,522	7,511
27,55	4,604	0,936	12,400	236,95	2,491	0,506	7,282
30,75	4,562	0,927	12,400	247,48	2,418	0,492	7,063
33,95	4,521	0,919	12,400	256,02	2,356	0,479	6,891
37,13	4,478	0,910	12,400	265,65	2,291	0,466	6,701
39,30	4,450	0,905	12,400	277,25	2,215	0,450	6,479
42,40	4,411	0,897	12,400	286,90	2,154	0,438	6,300
45,60	4,367	0,888	12,400	296,40	2,096	0,426	6,129
48,80	4,327	0,880	12,400	306,03	2,038	0,414	5,960
51,97	4,287	0,872	12,400	315,55	1,983	0,403	5,798
55,13	4,248	0,864	12,400	327,27	1,917	0,390	5,604
57,37	4,219	0,858	12,259	338,95	1,854	0,377	5,418
60,47	4,182	0,850	12,149	347,33	1,811	0,368	5,288
67,88	4,089	0,831	11,891	355,95	1,766	0,359	5,157
72,17	4,039	0,821	11,744	366,60	1,713	0,348	5,000
76,47	3,987	0,811	11,598	377,17	1,662	0,338	4,849
82,77	3,914	0,796	11,389	392,02	1,590	0,323	4,645
87,08	3,864	0,786	11,247	410,07	1,507	0,306	4,408
91,35	3,817	0,776	11,109	421,82	1,455	0,296	4,260
96,60	3,757	0,764	10,941	436,70	1,391	0,283	4,080
101,97	3,700	0,752	10,772	451,50	1,332	0,271	3,909
106,23	3,652	0,743	10,639	467,42	1,269	0,258	3,733
111,52	3,598	0,732	10,477	481,33	1,218	0,248	3,585
116,78	3,542	0,720	10,319	496,18	1,165	0,237	3,434
122,08	3,489	0,709	10,161	512,15	1,112	0,226	3,279
126,38	3,446	0,701	10,035	526,93	1,065	0,216	3,141
131,65	3,392	0,690	9,883	541,83	1,024	0,208	3,008
137,00	3,340	0,679	9,731	556,75	0,975	0,198	2,881
142,37	3,288	0,669	9,581	572,60	0,931	0,189	2,751
146,57	3,250	0,661	9,465	586,47	0,895	0,182	2,643
151,85	3,200	0,651	9,321	602,37	0,852	0,173	2,524

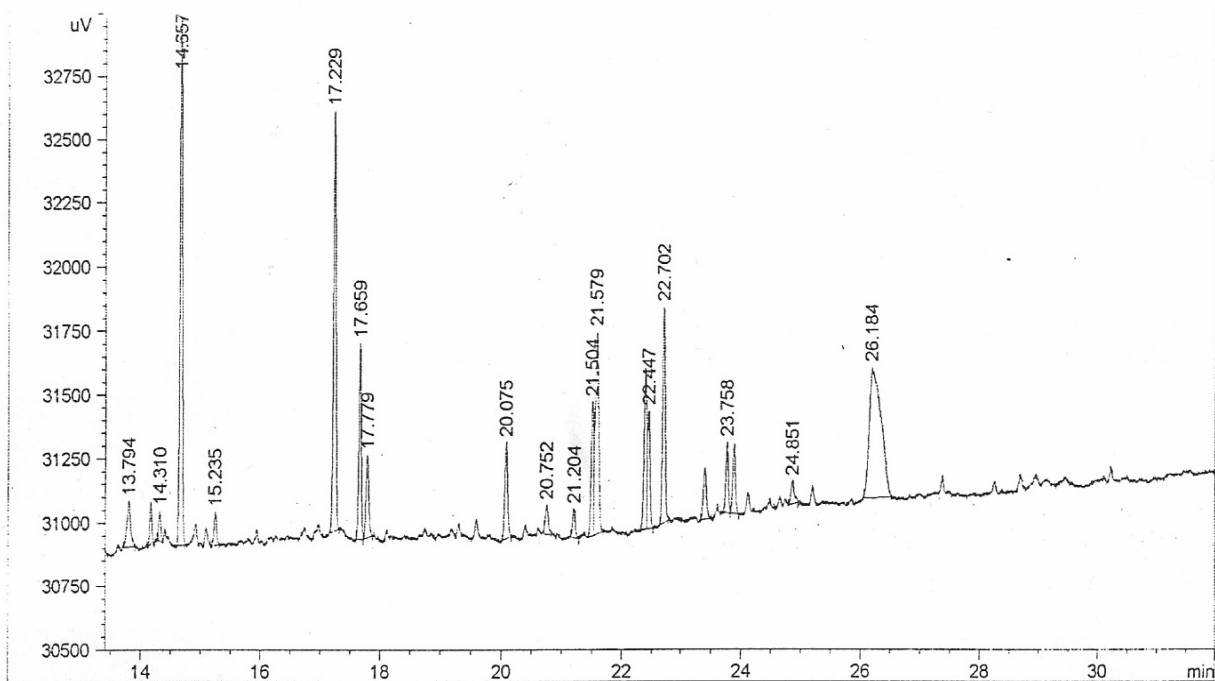
ANEXO A2

616,28	0,817	0,166	2,424	647,10	0,747	0,152	2,217
631,15	0,781	0,159	2,322	661,90	0,717	0,146	2,124

ANEXO A3

RELATÓRIOS DOS CROMATOGRAMAS OBTIDOS PARA
AS AMOSTRAS DE ABACAXI (*Smooth Cayenne*) IN NATURA
E SECO EM ATMOSFERAS NORMAL E MODIFICADA
COM 0,5% (V/V) DE ETANOL

Cromatograma 1. Relatório da análise cromatográfica dos voláteis extraídos de amostras de abacaxi *in natura* (Fruta 1) utilizado para a secagem no experimento 1 (40°C – 0,42 m/s – atmosfera normal) e no experimento 2 (40°C – 0,42 m/s – atmosfera modificada com 0,5% (v/v) de etanol)



=====
Area Percent Report
=====

Sorted By : Signal
Multiplier : 1.0000
Dilution : 1.0000

Signal 1: ADC1 A, ADC1 CHANNEL A

Peak #	RetTime [min]	Type	Width [min]	Area [uV*s]	Height [uV]	Area %
1	4.908	BP	0.0390	273.86615	98.23436	0.00233
2	5.128	PV	0.0339	1.02765e4	4714.63818	0.08740
3	5.181	VV	0.0277	2524.83350	1389.60742	0.02147
4	5.241	VV	0.0277	1690.99854	951.05872	0.01438
5	5.292	VV	0.0253	5730.57129	3554.12354	0.04874
6	5.358	VV	0.0325	1.53742e6	7.31552e5	13.07608
7	5.431	VV	0.0510	3.97842e6	9.67379e5	33.83727
8	5.511	VV	0.0294	2.17349e4	1.13314e4	0.18486
9	5.696	VV	0.0707	5.57528e6	9.67288e5	47.41896
10	5.814	VB	0.0329	2.08247e4	9364.81250	0.17712

Peak #	RetTime [min]	Type	Width [min]	Area [uV*s]	Height [uV]	Area %
11	6.130	BP	0.0274	7.91445e4	4.52087e4	0.67314
12	6.264	VP	0.0288	8869.03711	4859.48535	0.07543
13	6.349	VV	0.0360	1026.15198	442.68030	0.00873
14	6.429	VV	0.0373	5731.62354	2364.26099	0.04875
15	6.485	VV	0.0259	1274.24854	748.20740	0.01084
16	6.542	VV	0.0283	8.81328e4	4.82130e4	0.74959
17	6.666	VV	0.0345	4.50842e4	1.94605e4	0.38345
18	6.727	VV	0.0290	4744.06787	2513.23608	0.04035
19	6.788	VP	0.0327	953.07745	450.93921	0.00811
20	6.921	VB	0.0330	2678.17285	1273.24500	0.02278
21	7.077	BB	0.0303	1222.19751	638.78516	0.01040
22	7.406	BV	0.0428	1.61924e4	5357.05273	0.13772
23	7.480	VV	0.0356	439.17868	182.01988	0.00374
24	7.579	VP	0.0361	676.10364	296.22375	0.00575
25	7.663	VV	0.0319	479.16016	238.99879	0.00408
26	7.734	VV	0.0326	1687.93359	817.32104	0.01436
27	7.799	VV	0.0334	3352.08301	1542.19543	0.02851
28	7.914	VP	0.0319	2823.63721	1375.89990	0.02402
29	8.099	VV	0.0384	1548.33948	624.62793	0.01317
30	8.219	VV	0.0363	2.00415e4	8561.57520	0.17046
31	8.311	VV	0.0321	273.04651	122.22107	0.00232
32	8.384	VV	0.0453	1319.44885	454.85611	0.01122
33	8.475	VB	0.0421	1765.48230	662.67456	0.01502
34	8.649	BB	0.0385	1954.39551	759.39868	0.01662
35	8.838	PP	0.0317	264.16211	113.42244	0.00225
36	8.956	VP	0.0333	1.96498e5	9.25640e4	1.67125
37	9.319	VV	0.0326	746.43475	353.92847	0.00635
38	9.392	VP	0.0419	4398.99707	1632.51465	0.03741
39	9.685	BV	0.0335	1709.58521	797.47150	0.01454
40	9.761	VP	0.0348	2.29918e4	1.03846e4	0.19555
41	9.894	VV	0.0383	585.87280	229.39017	0.00498
42	10.140	PP	0.0617	1003.73047	224.15323	0.00854
43	10.314	VV	0.0593	1199.93994	275.74451	0.01021
44	10.441	VB	0.0424	737.52094	257.99243	0.00627
45	10.665	PV	0.0504	1264.98132	356.28888	0.01076
46	10.789	VP	0.0474	1070.51184	324.83160	0.00910
47	11.029	VB	0.0411	3.69461e4	1.40864e4	0.31423
48	11.226	BV	0.0424	846.63422	271.51559	0.00720
49	11.271	VB	0.0395	475.92688	176.40408	0.00405
50	11.408	BV	0.0372	249.40353	85.01531	0.00212
51	12.763	PV	0.0520	636.07257	176.69218	0.00541
52	12.899	VP	0.0390	458.96964	162.37396	0.00390
53	13.036	BB	0.0616	1215.52222	289.10535	0.01034
54	13.794	BP	0.0594	767.24750	179.22942	0.00653
55	14.161	PB	0.0375	371.08405	163.35435	0.00316
56	14.310	BB	0.0341	294.31784	119.96188	0.00250
57	14.657	BP	0.0414	6184.12695	2299.34863	0.05260
58	15.235	BB	0.0368	380.18506	131.22279	0.00323
59	17.229	BB	0.0471	4879.43262	1645.58459	0.04150
60	17.659	BP	0.0426	2077.57739	766.85669	0.01767
61	17.779	VB	0.0501	1054.40039	323.02206	0.00897
62	20.075	PB	0.0502	1243.97473	374.53128	0.01058
63	20.752	BB	0.0464	404.26114	114.03224	0.00344
64	21.204	BP	0.0433	362.23636	110.36077	0.00308
65	21.504	PV	0.0439	1566.18335	523.73016	0.01332
66	21.579	VB	0.0612	3231.08154	789.84637	0.02748
67	22.389	BV	0.0504	2028.38037	632.06036	0.01725
68	22.447	VP	0.0406	1306.02588	460.03491	0.01111
69	22.702	BB	0.0501	2728.60791	845.64471	0.02321
70	23.392	BB	0.0449	720.11353	200.45901	0.00612
71	23.758	PV	0.0444	787.96863	275.33261	0.00670
72	23.876	VP	0.0469	830.36578	265.98865	0.00706
73	24.851	PB	0.0513	352.62628	87.93569	0.00300

Cromatograma 1
(continuação)

Peak #	RetTime [min]	Type	Width [min]	Area [uV*s]	Height [uV]	Area %
74	26.184	BB	0.1644	7040.13867	512.01849	0.05988

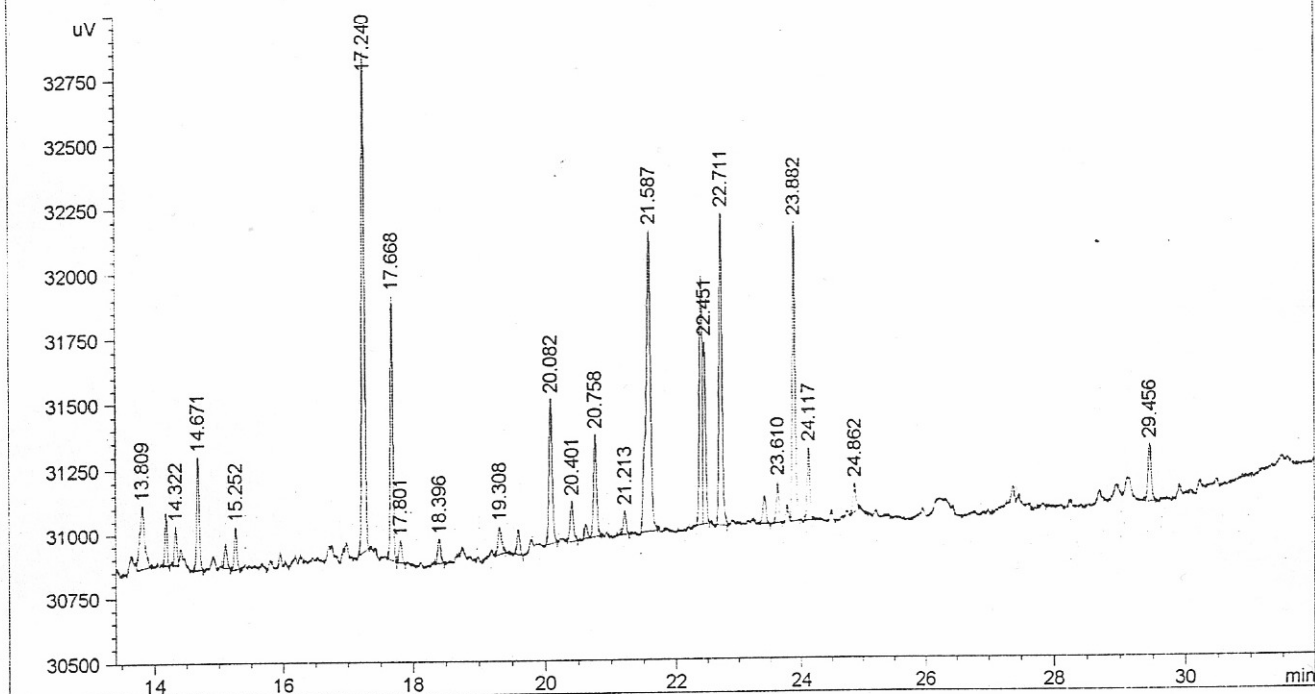
Totals : 1.17575e7 2.97837e6

Results obtained with enhanced integrator!

*** End of Report ***

Cromatograma 1
(continuação)

Cromatograma 2. Relatório da análise cromatográfica dos voláteis extraídos de
abacaxi seco (Experimento 1: 40°C – 0,42 m/s – atmosfera normal)



=====
Area Percent Report
=====

Sorted By : Signal
Multiplier : 1.0000
Dilution : 1.0000

Signal 1: ADC1 A, ADC1 CHANNEL A

Peak #	RetTime [min]	Type	Width [min]	Area [uV*s]	Height [uV]	Area %
1	4.898	BP	0.0401	273.03476	102.33135	0.00218
2	5.124	PV	0.0361	1.04688e4	4500.79004	0.08373
3	5.175	VV	0.0260	1963.77795	1116.80725	0.01571
4	5.236	VV	0.0291	1457.87708	769.18945	0.01166
5	5.288	VV	0.0255	4876.82178	2987.79443	0.03901
6	5.353	VV	0.0332	1.64831e6	7.49050e5	13.18399
7	5.441	VV	0.0580	4.43919e6	9.67544e5	35.50676
8	5.508	VB	0.0299	2.14742e4	1.06912e4	0.17176
9	5.690	BV	0.0696	5.60245e6	9.67380e5	44.81102
10	5.813	VB	0.0321	2.01307e4	9353.97461	0.16101

Peak #	RetTime [min]	Type	Width [min]	Area [uV*s]	Height [uV]	Area %
11	6.130	BV	0.0274	9.08489e4	5.19917e4	0.72665
12	6.264	VP	0.0283	9888.62500	5411.95654	0.07909
13	6.353	VV	0.0354	1690.72778	747.13220	0.01352
14	6.430	VV	0.0396	6677.20264	2725.52100	0.05341
15	6.486	VV	0.0264	1469.17053	859.98584	0.01175
16	6.544	VV	0.0288	1.03745e5	5.69556e4	0.82980
17	6.668	VV	0.0362	5.89061e4	2.39816e4	0.47116
18	6.730	VV	0.0289	5403.92969	2878.09009	0.04322
19	6.791	VP	0.0316	1026.88660	507.76947	0.00821
20	6.924	VP	0.0328	3181.56738	1524.38098	0.02545
21	7.080	VB	0.0301	1533.52673	810.67346	0.01227
22	7.410	BV	0.0427	1.99643e4	6625.22461	0.15968
23	7.486	VV	0.0346	501.55368	220.08777	0.00401
24	7.584	VP	0.0363	875.48535	380.57587	0.00700
25	7.668	VV	0.0328	602.64026	283.15219	0.00482
26	7.739	VV	0.0330	2126.91089	1012.55115	0.01701
27	7.804	VV	0.0335	4134.46338	1888.98755	0.03307
28	7.919	VP	0.0317	3423.92627	1687.96118	0.02739
29	7.999	VV	0.0380	286.70944	109.61367	0.00229
30	8.105	VV	0.0382	1906.76489	775.07727	0.01525
31	8.226	VV	0.0362	2.48574e4	1.06449e4	0.19882
32	8.318	VV	0.0318	315.68024	145.74016	0.00252
33	8.389	VV	0.0458	1698.68127	578.04791	0.01359
34	8.482	VV	0.0412	2130.07788	810.26038	0.01704
35	8.654	VV	0.0341	949.01740	441.48395	0.00759
36	8.709	VP	0.0349	297.09549	115.90247	0.00238
37	8.844	BP	0.0376	396.90573	153.59592	0.00317
38	8.964	VB	0.0333	2.52716e5	1.19058e5	2.02135
39	9.327	VV	0.0342	1044.05115	483.58157	0.00835
40	9.400	VB	0.0437	5756.25928	2087.84326	0.04604
41	9.694	BV	0.0346	2229.28540	1017.47546	0.01783
42	9.770	VB	0.0350	2.96630e4	1.32957e4	0.23726
43	9.902	BV	0.0397	843.74011	331.60626	0.00675
44	9.976	VB	0.0416	569.36713	207.20296	0.00455
45	10.108	BV	0.0366	475.54834	204.89812	0.00380
46	10.155	VP	0.0375	682.84100	279.17480	0.00546
47	10.323	VV	0.0578	1614.25037	374.77417	0.01291
48	10.451	VV	0.0437	952.00439	339.41165	0.00761
49	10.541	VP	0.0479	301.74121	87.23874	0.00241
50	10.676	VV	0.0386	1195.61755	471.64005	0.00956
51	10.708	VV	0.0337	920.88531	418.23688	0.00737
52	10.798	VP	0.0472	1423.16821	440.63705	0.01138
53	11.041	BB	0.0405	5.05126e4	1.92925e4	0.40402
54	11.234	BV	0.0435	1052.24683	356.24673	0.00842
55	11.283	VP	0.0392	599.47571	214.16005	0.00479
56	12.308	BB	0.0356	245.04190	107.63198	0.00196
57	12.774	BB	0.0515	888.70813	262.46539	0.00711
58	12.909	BV	0.0428	668.10284	230.85892	0.00534
59	13.082	VV	0.0604	2718.85181	622.67004	0.02175
60	13.180	VP	0.0392	397.26666	139.65329	0.00318
61	13.809	BB	0.0708	1297.94604	249.04501	0.01038
62	14.170	PP	0.0358	466.45798	211.25545	0.00373
63	14.322	PV	0.0421	424.82504	154.20230	0.00340
64	14.671	PB	0.0446	1227.69470	439.89105	0.00982
65	15.094	BB	0.0404	278.80972	94.58640	0.00223
66	15.252	PB	0.0369	457.05630	166.90591	0.00366
67	17.240	BB	0.0472	5826.07080	1931.14795	0.04660
68	17.668	BP	0.0427	2725.97461	1018.79150	0.02180
69	17.801	BP	0.0393	259.40079	85.66844	0.00207
70	18.396	PB	0.0443	327.58585	97.25671	0.00262
71	19.308	PB	0.0515	435.79074	113.01430	0.00349
72	19.586	BP	0.0362	293.19717	101.63675	0.00235
73	20.082	BP	0.0528	1889.89575	554.17896	0.01512

Cromatograma 2
(continuação)

Peak #	RetTime [min]	Type	Width [min]	Area [uV*s]	Height [uV]	Area %
74	20.401	PP	0.0451	549.77966	155.89503	0.00440
75	20.758	BB	0.0574	1444.39844	392.37799	0.01155
76	21.213	BP	0.0404	260.50821	91.09962	0.00208
77	21.587	BB	0.0686	5614.58984	1157.59839	0.04491
78	22.400	BV	0.0487	3176.94287	956.59229	0.02541
79	22.451	VP	0.0392	1807.31897	698.59351	0.01446
80	22.711	BP	0.0508	3889.10986	1200.82410	0.03111
81	23.403	PP	0.0446	373.79492	110.05396	0.00299
82	23.610	PB	0.0450	463.95264	159.23260	0.00371
83	23.882	VB	0.0478	3538.48413	1151.99146	0.02830
84	24.117	PB	0.0469	859.34790	279.17761	0.00687
85	24.862	PB	0.0481	364.52774	111.60458	0.00292
86	29.456	PB	0.0543	791.18829	218.05029	0.00633
87	32.981	BP	0.1668	6433.93945	455.58722	0.05146

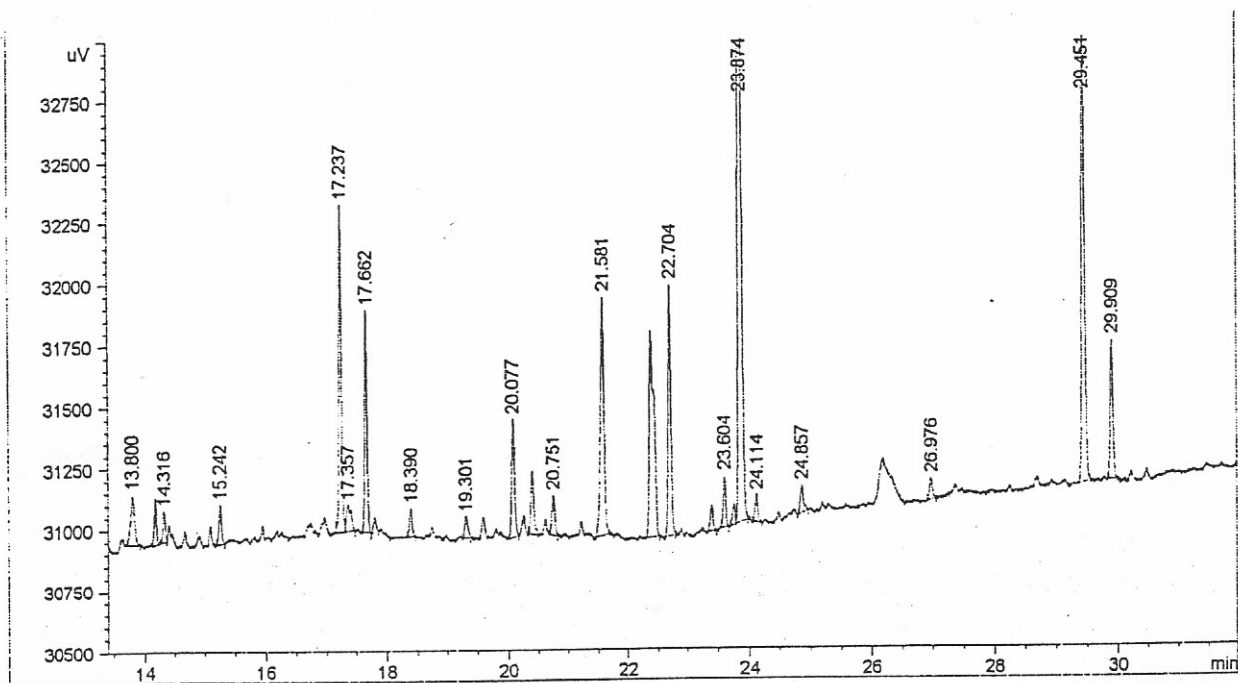
Totals : 1.25024e7 3.06044e6

Results obtained with enhanced integrator!

*** End of Report ***

Cromatograma 2
(continuação)

Cromatograma 3. Relatório da análise cromatográfica dos voláteis extraídos de abacaxi seco (Experimento 2: 40°C – 0,42 m/s – atmosfera modificada com 0,5% (v/v) de etanol)



=====
Area Percent Report
=====

Sorted By : Signal
Multiplier : 1.0000
Dilution : 1.0000

Signal 1: ADC1 A, ADC1 CHANNEL A

Peak #	RetTime [min]	Type	Width [min]	Area [uV*s]	Height [uV]	Area %
1	5.125	PV	0.0353	9706.03125	4228.07178	0.07877
2	5.174	VV	0.0253	1517.50073	893.75336	0.01232
3	5.236	VV	0.0284	1181.43713	644.45471	0.00959
4	5.288	VV	0.0247	4279.53711	2673.55127	0.03473
5	5.353	VV	0.0339	1.87958e6	8.65010e5	15.25407
6	5.433	VV	0.0570	4.18681e6	9.67475e5	33.97882
7	5.507	VB	0.0300	1.97533e4	9819.57910	0.16031
8	5.694	BV	0.0729	5.50849e6	9.67299e5	44.70514
9	5.811	VB	0.0321	1.93100e4	9988.71680	0.15671
10	6.127	BP	0.0275	8.53089e4	4.86477e4	0.69234

Peak #	RetTime [min]	Type	Width [min]	Area [uV*s]	Height [uV]	Area %
11	6.261	VP	0.0283	9319.34375	5111.80371	0.07563
12	6.348	VV	0.0352	1446.58777	644.87482	0.01174
13	6.427	VV	0.0397	6073.58398	2472.71265	0.04929
14	6.483	VV	0.0266	1368.42578	793.21643	0.01111
15	6.540	VV	0.0284	9.70017e4	5.29510e4	0.78723
16	6.665	VV	0.0324	4.78448e4	2.28915e4	0.38829
17	6.726	VV	0.0284	5100.41162	2718.86279	0.04139
18	6.787	VP	0.0309	963.82306	480.67722	0.00782
19	6.920	VP	0.0324	2965.85059	1417.01465	0.02407
20	7.078	BB	0.0301	994.11719	525.38495	0.00807
21	7.405	BV	0.0431	1.84082e4	6112.80566	0.14939
22	7.481	VV	0.0356	496.69412	206.23401	0.00403
23	7.580	VV	0.0358	803.51196	349.61566	0.00652
24	7.663	VV	0.0332	532.17896	256.85831	0.00432
25	7.734	VV	0.0323	1905.42322	934.08533	0.01546
26	7.799	VV	0.0334	3770.71387	1728.80042	0.03060
27	7.915	VP	0.0323	3130.77930	1537.86218	0.02541
28	7.996	VV	0.0384	248.23003	92.25391	0.00201
29	8.100	VV	0.0383	1777.58069	707.75452	0.01443
30	8.220	VV	0.0362	2.30276e4	9860.03809	0.18688
31	8.311	VV	0.0338	316.68204	140.57529	0.00257
32	8.384	VV	0.0465	1585.41895	528.59766	0.01287
33	8.476	VB	0.0423	2062.72266	755.98041	0.01674
34	8.648	VV	0.0336	872.19989	389.31744	0.00708
35	8.703	VB	0.0355	254.77795	100.61591	0.00207
36	8.839	BP	0.0410	377.87674	142.30605	0.00307
37	8.958	VB	0.0333	2.30791e5	1.08608e5	1.87303
38	9.321	VV	0.0340	880.42603	410.28882	0.00715
39	9.393	VB	0.0421	5135.81104	1898.89063	0.04168
40	9.688	BV	0.0350	2099.14990	940.84857	0.01704
41	9.764	VB	0.0344	2.70655e4	1.21744e4	0.21966
42	9.896	BV	0.0386	756.57300	293.27563	0.00614
43	9.972	VP	0.0364	447.05988	158.66084	0.00363
44	10.094	VV	0.0377	614.32166	253.88823	0.00499
45	10.147	VV	0.0375	629.99213	253.02887	0.00511
46	10.317	VV	0.0617	1627.39539	347.33527	0.01321
47	10.444	VV	0.0420	852.87225	306.33734	0.00692
48	10.670	VV	0.0585	1941.30469	448.05093	0.01575
49	10.791	VV	0.0498	1351.79761	401.18317	0.01097
50	11.034	VB	0.0409	4.36309e4	1.64974e4	0.35409
51	11.228	BB	0.0745	1835.70349	334.58987	0.01490
52	12.301	BB	0.0381	475.55145	197.10254	0.00386
53	12.768	BV	0.0532	782.10339	216.01065	0.00635
54	12.900	VP	0.0438	608.24060	213.26099	0.00494
55	13.039	BP	0.0578	1450.76318	361.52118	0.01177
56	13.800	PB	0.0531	857.87769	205.80008	0.00696
57	14.168	PB	0.0347	482.99670	192.67395	0.00392
58	14.316	PV	0.0446	372.92966	127.52779	0.00303
59	15.242	BP	0.0380	432.71243	162.63805	0.00351
60	17.237	BB	0.0469	4055.59766	1338.30347	0.03291
61	17.357	BP	0.0623	557.96411	107.88574	0.00453
62	17.662	BP	0.0417	2380.99658	904.53815	0.01932
63	18.390	BB	0.0433	330.02863	115.58977	0.00268
64	19.301	PB	0.0484	322.08887	86.63024	0.00261
65	20.077	PP	0.0522	1659.21741	481.89032	0.01347
66	20.390	BB	0.0537	874.79553	260.57495	0.00710
67	20.751	BB	0.0474	556.54779	162.79716	0.00452
68	21.581	BB	0.0638	4154.45410	973.78015	0.03372
69	22.396	BB	0.0709	4406.23047	843.98102	0.03576
70	22.704	BB	0.0500	3207.00708	1025.44556	0.02603
71	23.397	BB	0.0426	327.37109	105.72946	0.00266
72	23.604	BP	0.0418	606.00305	212.15817	0.00492
73	23.766	BV	0.0352	231.07979	86.32236	0.00188

Cromatograma 3

(continuação)

Peak #	RetTime [min]	Type	Width [min]	Area [uV*s]	Height [uV]	Area %
74	23.874	VB	0.0476	1.48697e4	4935.63037	0.12068
75	24.114	PP	0.0440	347.91849	109.63315	0.00282
76	24.857	PP	0.0453	403.12198	112.62162	0.00327
77	26.976	BB	0.0417	275.26700	86.37045	0.00223
78	29.451	BB	0.0517	6705.40430	1995.73804	0.05442
79	29.909	PB	0.0506	1845.97644	572.55145	0.01498

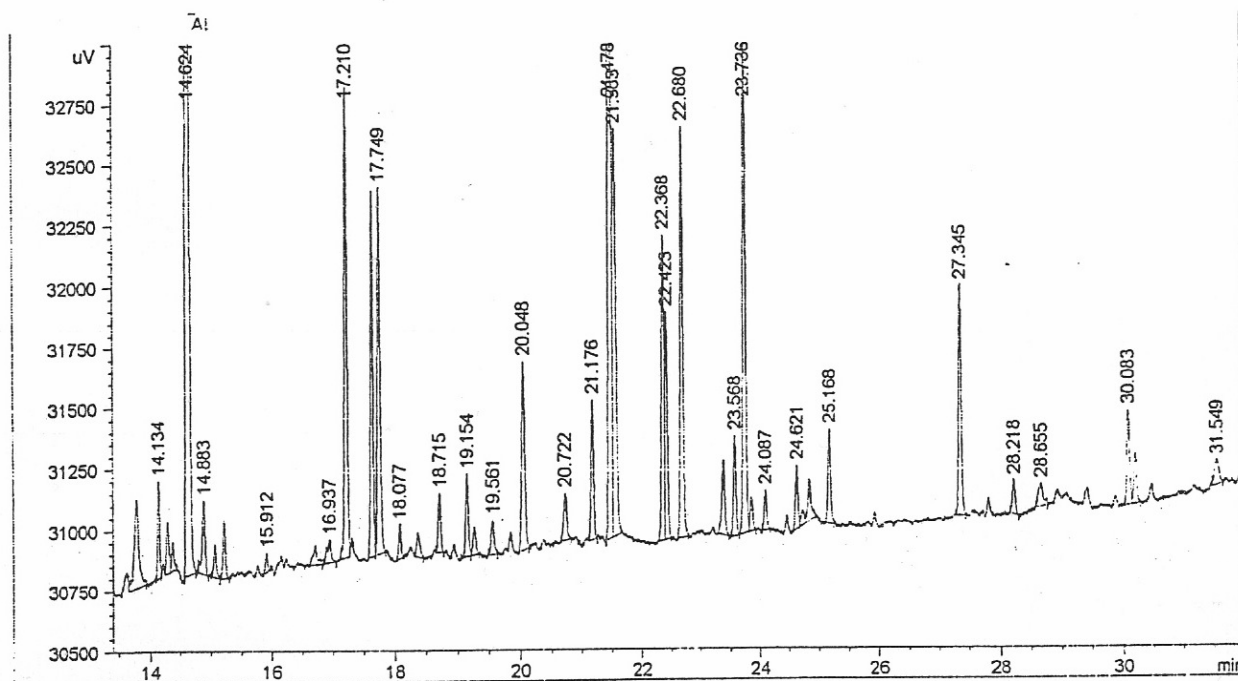
Totals : 1.23218e7 3.14905e6

Results obtained with enhanced integrator!

*** End of Report ***

Cromatograma 3
(continuação)

Cromatograma 4. Relatório da análise cromatográfica dos voláteis extraídos de amostras de abacaxi *in natura* (Fruta 2) utilizado para a secagem no experimento 3 (60°C – 0,42 m/s – atmosfera normal) e no experimento 4 (60°C – 0,42 m/s – atmosfera modificada com 0,5% (v/v) de etanol)



=====
Area Percent Report
=====

Sorted By : Signal
Multiplier : 1.0000
Dilution : 1.0000

Signal 1: ADC1 A, ADC1 CHANNEL A

Peak #	RetTime [min]	Type	Width [min]	Area [uV*s]	Height [uV]	Area %
1	4.897	BP	0.0374	363.94150	129.23721	0.00265
2	5.121	PV	0.0419	1.43729e4	5176.38232	0.10464
3	5.231	VV	0.0283	1525.79895	815.17053	0.01111
4	5.282	VV	0.0255	5344.25830	3289.54468	0.03891
5	5.346	VV	0.0348	1.50082e6	6.54529e5	10.92680
6	5.454	VV	0.0663	5.12204e6	9.67405e5	37.29140
7	5.694	VV	0.0792	5.98640e6	9.67296e5	43.58440
8	5.803	VB	0.0334	2.63191e4	1.16440e4	0.19162
9	6.119	BP	0.0274	1.13877e5	6.52578e4	0.82909
10	6.251	VP	0.0282	1.21400e4	6682.40381	0.08839

Peak #	RetTime [min]	Type	Width [min]	Area [uV*s]	Height [uV]	Area %
11	6.341	VV	0.0340	2621.35303	1199.72913	0.01908
12	6.416	VV	0.0404	8215.77148	3314.46338	0.05982
13	6.472	VV	0.0264	1821.00549	1068.79639	0.01326
14	6.528	VV	0.0287	1.33398e5	7.33707e4	0.97121
15	6.652	VV	0.0313	6.28522e4	3.08666e4	0.45760
16	6.713	VV	0.0289	6902.26221	3671.16968	0.05025
17	6.774	VP	0.0311	1326.26282	654.42090	0.00966
18	6.906	VV	0.0322	4057.03784	1993.02429	0.02954
19	7.063	VB	0.0321	1501.10583	725.74823	0.01093
20	7.388	BV	0.0428	2.68386e4	8866.25781	0.19540
21	7.464	VV	0.0360	729.58575	303.79663	0.00531
22	7.561	VV	0.0358	1197.13208	502.62979	0.00872
23	7.645	VV	0.0326	788.31927	381.82034	0.00574
24	7.716	VV	0.0327	2794.74829	1348.48230	0.02035
25	7.780	VV	0.0338	5505.45166	2489.79224	0.04008
26	7.895	VV	0.0322	4565.54639	2248.92798	0.03324
27	7.977	VV	0.0396	391.26068	139.82964	0.00285
28	8.081	VV	0.0367	2536.46289	1048.21826	0.01847
29	8.200	VV	0.0359	3.40426e4	1.47646e4	0.24785
30	8.291	VV	0.0321	423.63742	200.52783	0.00308
31	8.362	VV	0.0449	2283.76929	798.31726	0.01663
32	8.455	VV	0.0417	2853.17993	1085.33643	0.02077
33	8.564	VV	0.0340	292.20181	111.91351	0.00213
34	8.628	VB	0.0418	2029.23975	700.33545	0.01477
35	8.816	BP	0.0426	577.35944	213.05435	0.00420
36	8.936	VB	0.0331	3.53091e5	1.67628e5	2.57071
37	9.073	BV	0.0344	283.86197	103.82811	0.00207
38	9.226	VV	0.0323	183.25078	89.93562	0.00133
39	9.296	VV	0.0327	1399.90125	660.92267	0.01019
40	9.368	VB	0.0431	7994.51367	2908.40112	0.05820
41	9.662	PV	0.0340	3170.62305	1451.38794	0.02308
42	9.737	VV	0.0344	4.16815e4	1.87591e4	0.30347
43	9.871	VV	0.0402	1192.76001	460.65176	0.00868
44	9.944	VV	0.0477	517.47607	153.98590	0.00377
45	10.086	VV	0.0446	4731.98242	1573.57214	0.03445
46	10.289	VV	0.0575	2299.08252	536.19965	0.01674
47	10.417	VB	0.0485	1455.48767	452.98215	0.01060
48	10.641	BV	0.0485	2218.21436	663.83405	0.01615
49	10.763	VV	0.0479	2191.14453	640.71252	0.01595
50	10.939	VV	0.0341	1031.26709	443.47787	0.00751
51	11.010	VB	0.0403	7.21406e4	2.78019e4	0.52522
52	11.199	BV	0.0432	1488.50049	507.57388	0.01084
53	11.246	VV	0.0447	1042.45288	331.47232	0.00759
54	11.376	VV	0.0413	1458.90845	561.55396	0.01062
55	11.458	VP	0.0492	489.76846	136.89728	0.00357
56	11.921	VP	0.0380	282.28815	119.86926	0.00206
57	12.740	BV	0.0528	1322.10791	377.81094	0.00963
58	12.870	VB	0.0427	1011.00317	325.98807	0.00736
59	13.010	BP	0.0586	2518.40454	617.31726	0.01834
60	13.769	VB	0.0741	1968.59985	361.12500	0.01433
61	14.134	PV	0.0395	981.70294	402.32315	0.00715
62	14.286	VV	0.0438	614.11926	214.93871	0.00447
63	14.363	VB	0.0353	327.72864	126.07082	0.00239
64	14.624	PB	0.0421	5.32337e4	1.99433e4	0.38757
65	14.883	BP	0.0476	999.44324	305.79910	0.00728
66	15.056	PP	0.0402	403.98932	142.14609	0.00294
67	15.210	BP	0.0409	657.52686	244.62700	0.00479
68	15.912	PB	0.0378	230.82982	84.72766	0.00168
69	16.708	PP	0.0639	429.84399	85.12897	0.00313
70	16.937	BP	0.0642	498.65842	99.13260	0.00363
71	17.210	BV	0.0465	5712.59912	1930.70605	0.04159
72	17.634	BV	0.0410	3926.01294	1503.03430	0.02858
73	17.749	VB	0.0500	4775.91064	1505.66003	0.03477

Cromatograma 4
(continuação)

Peak #	RetTime [min]	Type	Width [min]	Area [uV*s]	Height [uV]	Area %
74	18.077	PB	0.0401	387.08423	140.53647	0.00282
75	18.365	PP	0.0438	357.36859	101.02473	0.00260
76	18.715	BP	0.0456	719.97552	242.44527	0.00524
77	19.154	BV	0.0453	1003.65295	336.44666	0.00731
78	19.266	VB	0.0437	344.38974	114.07471	0.00251
79	19.561	BB	0.0432	468.70129	143.33159	0.00341
80	20.048	BP	0.0524	2617.26196	775.48438	0.01906
81	20.722	BB	0.0483	702.15729	193.86879	0.00511
82	21.176	PP	0.0454	1675.13855	576.00092	0.01220
83	21.478	PV	0.0476	1.56506e4	5054.37256	0.11395
84	21.553	VB	0.0505	5755.79980	1677.23486	0.04191
85	22.368	BV	0.0488	4002.57251	1252.55200	0.02914
86	22.423	VB	0.0422	2580.91602	934.51367	0.01879
87	22.680	BB	0.0492	5406.70898	1693.71606	0.03936
88	23.374	BB	0.0515	1052.43481	306.99899	0.00766
89	23.568	PB	0.0458	1228.91711	411.46243	0.00895
90	23.736	BV	0.0480	6737.64111	2246.16309	0.04905
91	23.849	VP	0.0414	432.84061	136.84557	0.00315
92	24.087	BB	0.0415	456.18076	161.29782	0.00332
93	24.621	PV	0.0416	741.58380	257.85660	0.00540
94	24.830	VB	0.0671	882.86365	171.30325	0.00643
95	25.168	PB	0.0470	1245.28711	387.63455	0.00907
96	27.345	BB	0.0510	3084.78564	948.10345	0.02246
97	28.218	BP	0.0405	444.16769	139.88451	0.00323
98	28.655	BP	0.0671	522.44562	94.36992	0.00380
99	30.083	PV	0.0470	1228.06104	392.31351	0.00894
100	30.202	VB	0.0523	752.66388	207.65077	0.00548
101	31.549	BP	0.0608	510.17487	102.09525	0.00371
102	33.450	PB	0.0657	491.72641	92.18755	0.00358

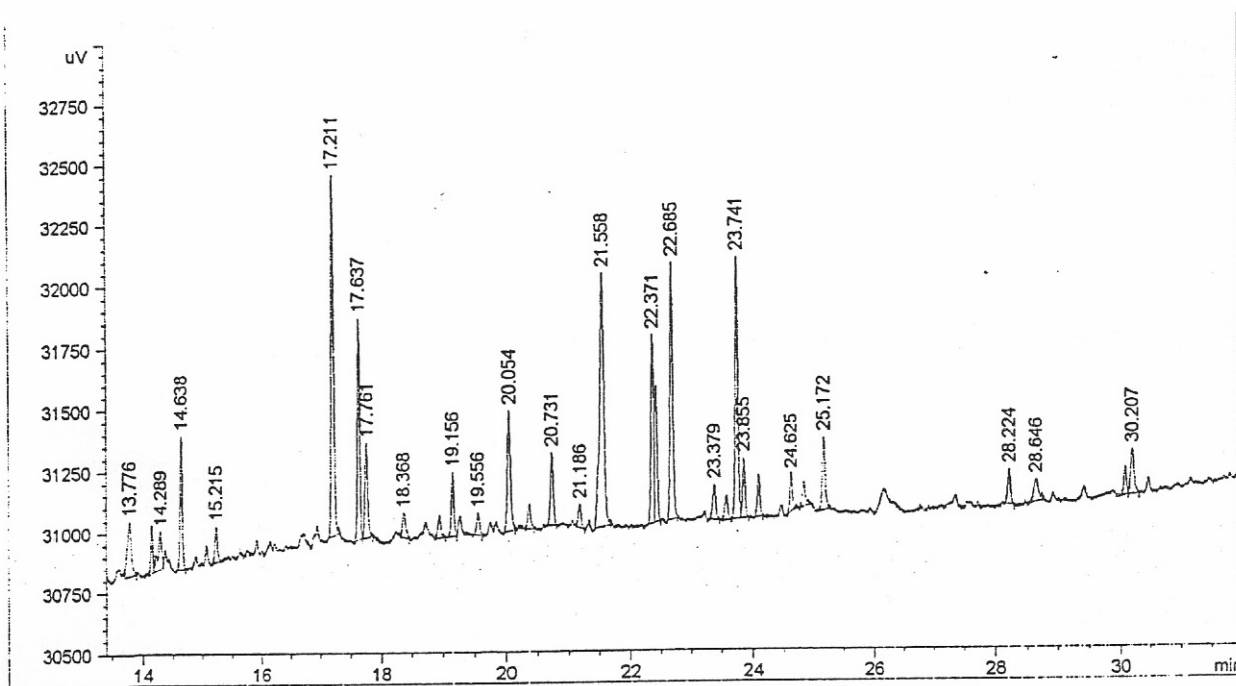
Totals : 1.37352e7 3.10784e6

Results obtained with enhanced integrator!

*** End of Report ***

Cromatograma 4
(continuação)

Cromatograma 5. Relatório da análise cromatográfica dos voláteis extraídos de abacaxi seco (Experimento 3: 60°C – 0,42 m/s – atmosfera normal)



=====
Area Percent Report
=====

Sorted By : Signal
Multiplier : 1.0000
Dilution : 1.0000

Signal 1: ADC1 A, ADC1 CHANNEL A

Peak #	RetTime [min]	Type	Width [min]	Area [uV*s]	Height [uV]	Area %
1	5.116	BV	0.0347	9847.41211	4380.58838	0.08327
2	5.167	VV	0.0268	2032.02808	1138.50269	0.01718
3	5.227	VV	0.0279	1440.04797	802.21124	0.01218
4	5.278	VV	0.0253	5152.00732	3197.94897	0.04357
5	5.343	VV	0.0312	1.34581e6	6.48385e5	11.38006
6	5.425	VV	0.0558	4.21478e6	9.67464e5	35.63992
7	5.497	VV	0.0291	2.12073e4	1.09403e4	0.17933
8	5.686	VV	0.0755	5.55480e6	9.67448e5	46.97098
9	5.799	VB	0.0321	2.02359e4	9420.71680	0.17111
10	6.114	BP	0.0279	8.43014e4	4.83095e4	0.71285

Peak #	RetTime [min]	Type	Width [min]	Area [uV*s]	Height [uV]	Area %
11	6.248	BP	0.0282	9313.98926	5124.23291	0.07876
12	6.332	VV	0.0338	1265.01758	572.65814	0.01070
13	6.412	VV	0.0387	5888.18848	2433.52686	0.04979
14	6.468	VV	0.0268	1340.85767	790.67072	0.01134
15	6.525	VV	0.0283	9.45482e4	5.18791e4	0.79949
16	6.649	VV	0.0315	4.25320e4	2.06478e4	0.35965
17	6.710	VV	0.0291	5042.41016	2662.21509	0.04264
18	6.771	VP	0.0319	1005.53088	479.98788	0.00850
19	6.903	VP	0.0336	2953.58496	1374.38196	0.02498
20	7.061	VB	0.0314	985.47357	501.10800	0.00833
21	7.386	BV	0.0427	1.77216e4	5871.71289	0.14985
22	7.462	VV	0.0363	503.75693	200.25520	0.00426
23	7.560	VP	0.0376	801.89691	345.04044	0.00678
24	7.644	VV	0.0328	549.04602	258.73630	0.00464
25	7.714	VV	0.0322	1868.83032	900.64331	0.01580
26	7.779	VV	0.0335	3648.70166	1668.70789	0.03085
27	7.894	VP	0.0322	3045.25684	1496.00964	0.02575
28	7.974	VV	0.0410	267.78918	94.64006	0.00226
29	8.079	VV	0.0371	1670.08826	680.19702	0.01412
30	8.199	VV	0.0357	2.16467e4	9273.60449	0.18304
31	8.292	VV	0.0304	249.82304	121.94135	0.00211
32	8.362	VV	0.0460	1411.48926	484.36783	0.01194
33	8.455	VB	0.0401	1803.31714	698.59412	0.01525
34	8.625	VP	0.0381	885.73663	355.63028	0.00749
35	8.816	PP	0.0358	360.32590	136.53842	0.00305
36	8.934	VB	0.0332	2.18617e5	1.03245e5	1.84861
37	9.083	BB	0.0534	451.15851	115.81968	0.00381
38	9.297	VV	0.0329	839.19128	400.69501	0.00710
39	9.369	VP	0.0423	4895.99512	1797.16516	0.04140
40	9.663	BV	0.0347	1949.44910	885.59686	0.01648
41	9.739	VV	0.0345	2.56695e4	1.15357e4	0.21706
42	9.871	VV	0.0432	910.57562	324.45374	0.00770
43	9.944	VB	0.0435	327.94272	109.21762	0.00277
44	10.077	BV	0.0351	466.58313	197.04451	0.00395
45	10.118	VP	0.0374	623.34271	251.31564	0.00527
46	10.290	BP	0.0602	1338.50195	308.24197	0.01132
47	10.419	VB	0.0400	688.50745	258.84155	0.00582
48	10.641	PV	0.0473	1279.20349	394.32303	0.01082
49	10.765	VV	0.0502	1317.47644	382.64417	0.01114
50	11.006	VB	0.0405	4.24606e4	1.62247e4	0.35904
51	11.201	BV	0.0451	994.37817	320.98639	0.00841
52	11.246	VB	0.0373	568.27991	214.90988	0.00481
53	12.740	PV	0.0540	869.93036	236.13879	0.00736
54	12.876	VV	0.0406	635.41833	199.85643	0.00537
55	13.012	VV	0.0638	1776.34534	388.53748	0.01502
56	13.776	BP	0.0574	1042.27454	229.75348	0.00881
57	14.138	PV	0.0366	524.50977	210.62675	0.00444
58	14.289	VV	0.0564	721.19507	160.62755	0.00610
59	14.638	BP	0.0441	1514.01294	549.48700	0.01280
60	15.215	BB	0.0374	396.81528	149.99445	0.00336
61	17.211	BB	0.0462	4382.77051	1473.66235	0.03706
62	17.637	BV	0.0416	2408.54077	903.14484	0.02037
63	17.761	VB	0.0505	1294.48120	391.83612	0.01095
64	18.368	PB	0.0553	396.62854	103.34502	0.00335
65	18.944	PB	0.0410	296.35895	94.69071	0.00251
66	19.156	PP	0.0431	770.69427	263.35367	0.00652
67	19.556	BP	0.0409	309.01111	93.87959	0.00261
68	20.054	BP	0.0489	1672.69177	495.37277	0.01414
69	20.370	PB	0.0411	324.91394	106.42613	0.00275
70	20.731	BB	0.0451	937.71564	299.28992	0.00793
71	21.186	PP	0.0453	291.47073	96.30601	0.00246
72	21.558	BB	0.0659	4857.17334	1033.03845	0.04107
73	22.371	BV	0.0468	2401.96924	771.61481	0.02031

Cromatograma 5
(continuação)

Peak #	RetTime [min]	Type	Width [min]	Area [uV*s]	Height [uV]	Area %
74	22.428	VP	0.0452	1589.46411	558.78033	0.01344
75	22.685	BB	0.0480	3282.76245	1049.24585	0.02776
76	23.379	BB	0.0489	494.70493	144.61345	0.00418
77	23.579	PB	0.0465	326.69302	96.59484	0.00276
78	23.741	BV	0.0456	3216.56226	1069.54089	0.02720
79	23.855	VB	0.0437	719.80774	245.61397	0.00609
80	24.090	BB	0.0417	483.03122	172.45297	0.00408
81	24.625	PB	0.0414	443.11441	154.92648	0.00375
82	24.837	PB	0.0480	375.96674	102.09202	0.00318
83	25.172	PB	0.0486	970.30139	301.17505	0.00820
84	28.224	BB	0.0432	462.59152	147.17937	0.00391
85	28.646	PB	0.0627	482.92410	94.44594	0.00408
86	30.089	BV	0.0389	351.59082	119.09360	0.00297
87	30.207	VP	0.0478	682.30377	188.00987	0.00577

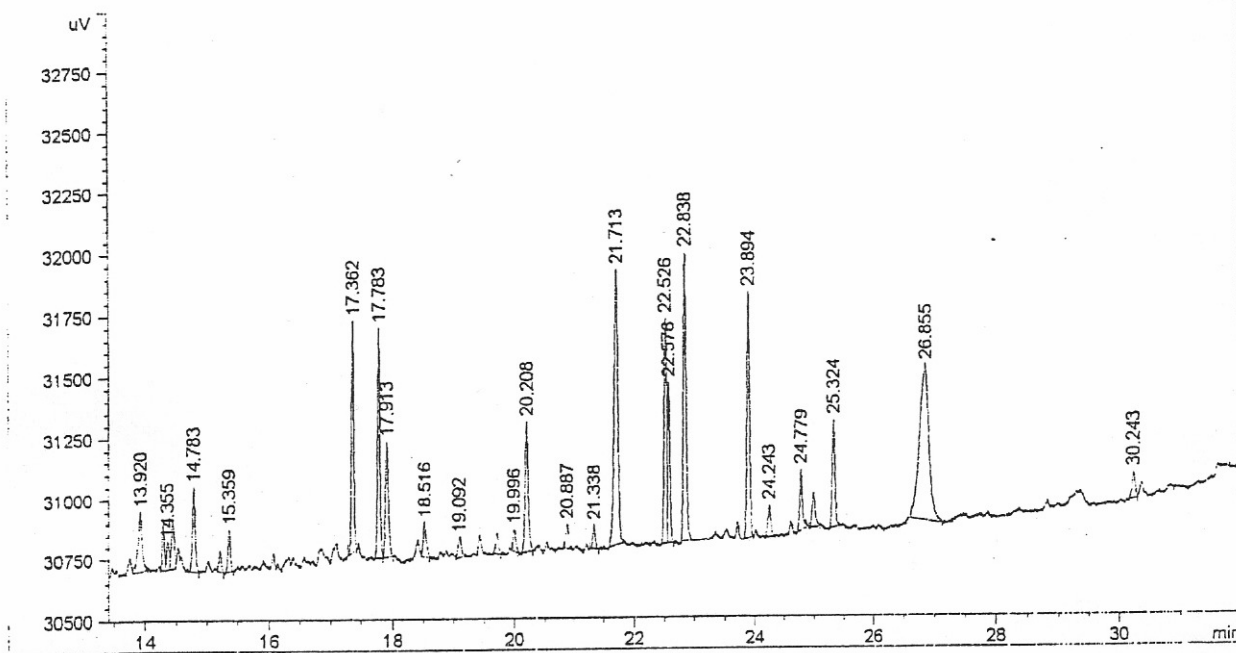
Totals : 1.18260e7 2.92020e6

Results obtained with enhanced integrator!

*** End of Report ***

Cromatograma 5
(continuação)

Cromatograma 6. Relatório da análise cromatográfica dos voláteis extraídos de abacaxi seco (Experimento 4: 60°C – 0,42 m/s – atmosfera modificada com 0,5% (v/v) de etanol)



=====
Area Percent Report
=====

Sorted By : Signal
Multiplier : 1.0000
Dilution : 1.0000

Signal 1: ADC1 A, ADC1 CHANNEL A

Peak #	RetTime [min]	Type	Width [min]	Area [uV*s]	Height [uV]	Area %
1	4.955	BP	0.0439	484.99435	166.95284	0.00363
2	5.185	BV	0.0366	1.48670e4	6281.59766	0.11134
3	5.236	VV	0.0276	3076.97290	1664.14880	0.02304
4	5.299	VV	0.0300	2236.46899	1136.82007	0.01675
5	5.351	VV	0.0271	6923.35986	4017.46753	0.05185
6	5.418	VV	0.0358	1.67862e6	7.18131e5	12.57114
7	5.514	VV	0.0615	4.68676e6	9.67654e5	35.09891
8	5.572	VV	0.0304	2.64357e4	1.28869e4	0.19798
9	5.770	VV	0.0779	6.12565e6	9.67650e5	45.87474

Peak #	RetTime [min]	Type	Width [min]	Area [uV*s]	Height [uV]	Area %
10	5.881	VB	0.0387	3.22124e4	1.18558e4	0.24124
11	6.203	BV	0.0289	1.00831e5	5.48993e4	0.75512
12	6.337	VV	0.0309	1.17801e4	5872.59229	0.08822
13	6.437	VV	0.0364	2455.19287	1025.41248	0.01839
14	6.504	VV	0.0385	7453.65723	2997.31470	0.05582
15	6.561	VV	0.0282	1833.35071	986.38312	0.01373
16	6.620	VV	0.0302	1.12529e5	5.92286e4	0.84272
17	6.747	VV	0.0323	5.09595e4	2.44410e4	0.38163
18	6.806	VV	0.0294	6064.97217	3155.48340	0.04542
19	6.868	VV	0.0367	1449.17639	588.71570	0.01085
20	7.002	VB	0.0352	3767.78101	1646.32483	0.02822
21	7.162	BV	0.0365	1334.46960	556.07733	0.00999
22	7.493	VV	0.0443	2.14687e4	6811.67041	0.16078
23	7.567	VV	0.0363	635.64032	253.48613	0.00476
24	7.669	VV	0.0360	980.22992	423.44492	0.00734
25	7.751	VV	0.0358	693.33728	307.66858	0.00519
26	7.822	VV	0.0330	2265.24072	1055.35486	0.01696
27	7.888	VV	0.0352	4469.00049	1955.21082	0.03347
28	8.004	VV	0.0333	3722.06787	1748.35950	0.02787
29	8.086	VV	0.0430	372.51666	117.45684	0.00279
30	8.192	VV	0.0389	2041.86328	795.77448	0.01529
31	8.313	VV	0.0381	2.69415e4	1.09918e4	0.20176
32	8.405	VV	0.0349	379.41171	167.38799	0.00284
33	8.480	VV	0.0468	1844.03491	609.49139	0.01381
34	8.570	VV	0.0446	2372.25366	849.06677	0.01777
35	8.679	VV	0.0273	180.06120	89.96921	0.00135
36	8.744	VV	0.0356	1090.67212	468.91467	0.00817
37	8.794	VB	0.0365	320.12643	109.74146	0.00240
38	8.934	PP	0.0372	424.29367	155.93855	0.00318
39	9.058	VV	0.0338	2.62776e5	1.21268e5	1.96792
40	9.422	VV	0.0335	1014.95148	473.96780	0.00760
41	9.496	VP	0.0415	5952.54199	2237.04004	0.04458
42	9.790	BV	0.0348	2346.68286	1060.72412	0.01757
43	9.867	VV	0.0356	3.11443e4	1.36523e4	0.23324
44	9.999	VV	0.0400	2452.66406	954.55933	0.01837
45	10.070	VB	0.0383	314.77182	119.19897	0.00236
46	10.245	BP	0.0590	1307.17310	301.92297	0.00979
47	10.418	VV	0.0672	1681.26819	390.98181	0.01259
48	10.548	VB	0.0479	1088.12329	334.98529	0.00815
49	10.777	PV	0.0490	1559.58923	460.31439	0.01168
50	10.901	VP	0.0483	1467.31067	446.86325	0.01099
51	11.144	VB	0.0411	4.38378e4	1.64433e4	0.32830
52	11.341	BV	0.0444	1055.71680	348.12219	0.00791
53	11.384	VB	0.0328	529.92365	231.03554	0.00397
54	12.440	PP	0.0358	277.82886	100.24706	0.00208
55	12.880	BV	0.0506	894.09833	257.05759	0.00670
56	13.015	VP	0.0450	662.51086	230.89037	0.00496
57	13.152	BB	0.0545	1761.70398	432.35226	0.01319
58	13.920	VB	0.0656	1217.68396	251.09035	0.00912
59	14.282	PV	0.0370	517.75873	215.93661	0.00388
60	14.355	VV	0.0411	337.42371	113.62682	0.00253
61	14.434	VV	0.0519	655.01099	196.44794	0.00491
62	14.783	BP	0.0444	1003.42548	350.85522	0.00751
63	15.209	BP	0.0322	234.31548	95.14751	0.00175
64	15.359	BB	0.0416	473.63226	177.63358	0.00355
65	17.362	BB	0.0428	2631.37964	950.98462	0.01971
66	17.783	BP	0.0416	2527.45679	947.60022	0.01893
67	17.913	VB	0.0512	1568.41724	479.48175	0.01175
68	18.516	BB	0.0543	559.78644	149.18810	0.00419
69	19.092	PB	0.0440	318.31830	89.54785	0.00238
70	19.718	BP	0.0423	303.78101	92.55493	0.00228
71	19.996	BB	0.0375	293.85715	97.88011	0.00220
72	20.208	BP	0.0538	1858.01489	537.33765	0.01391

Cromatograma 6
(continuação)

Peak #	RetTime [min]	Type	Width [min]	Area [uV*s]	Height [uV]	Area %
73	20.887	BP	0.0477	354.67694	105.64089	0.00266
74	21.338	PP	0.0371	273.36606	101.07220	0.00205
75	21.713	BB	0.0655	4881.64160	1128.77356	0.03656
76	22.526	PV	0.0500	3092.36401	923.91943	0.02316
77	22.576	VB	0.0405	1732.28772	662.62610	0.01297
78	22.838	BB	0.0494	3796.65601	1183.21558	0.02843
79	23.894	BP	0.0478	2998.70483	1004.54858	0.02246
80	24.243	PB	0.0493	424.73352	129.35797	0.00318
81	24.779	BB	0.0462	808.30963	247.09790	0.00605
82	24.989	PB	0.0486	501.08014	140.44955	0.00375
83	25.324	PB	0.0498	1384.38306	439.13739	0.01037
84	26.855	BB	0.1356	6930.98730	633.85443	0.05191
85	30.243	PP	0.0498	365.26364	109.79420	0.00274
86	33.757	BB	0.0486	899.22852	286.80075	0.00673

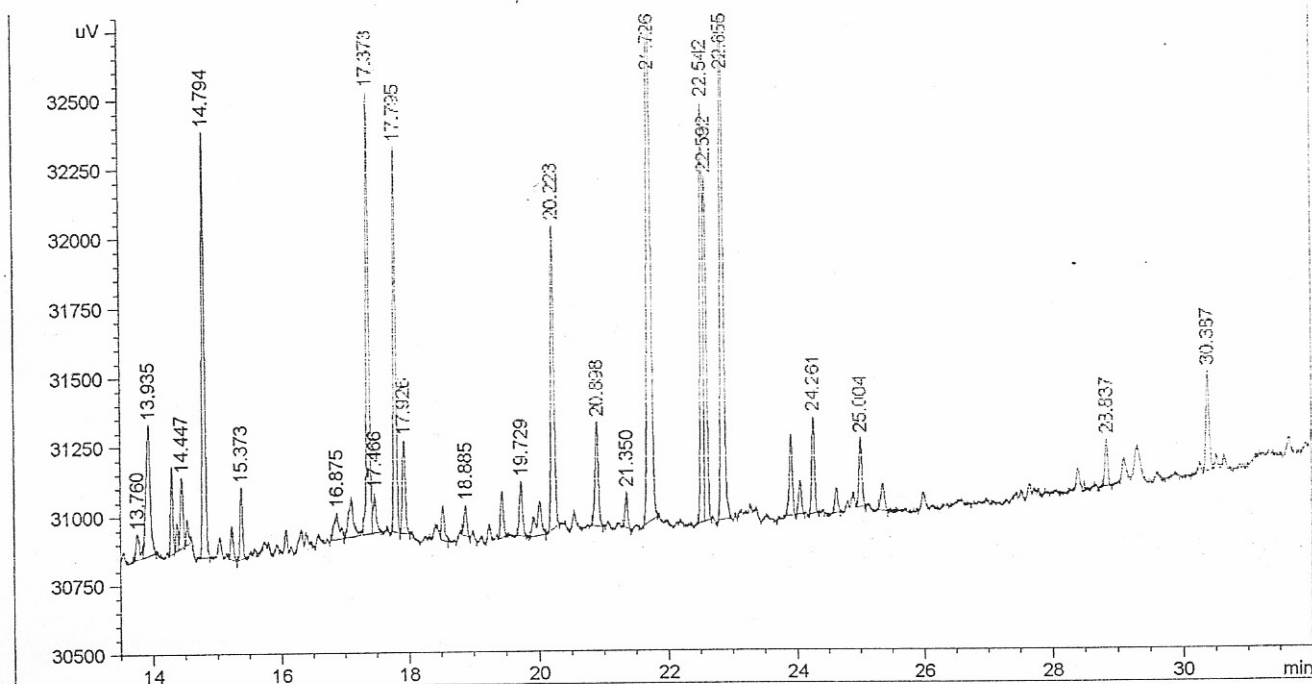
Totals : 1.33530e7 3.04534e6

Results obtained with enhanced integrator!

*** End of Report ***

Cromatograma 6
(continuação)

Cromatograma 7. Relatório da análise cromatográfica dos voláteis extraídos de amostras de abacaxi *in natura* (Fruta 3) utilizado para a secagem no experimento 5 (40°C – 0,84 m/s – atmosfera normal) e no experimento 6 (40°C – 0,84 m/s – atmosfera modificada com 0,5% (v/v) de etanol)



=====
Area Percent Report
=====

Sorted By : Signal
Multiplier : 1.0000
Dilution : 1.0000

Signal 1: ADC1 A, ADC1 CHANNEL A

Peak #	RetTime [min]	Type	Width [min]	Area [uV*s]	Height [uV]	Area %
1	5.005	BB	0.0358	417.56467	166.02034	0.00248
2	5.236	BV	0.0423	2.38800e4	8492.66602	0.14207
3	5.346	VV	0.0317	1454.63318	673.53650	0.00865
4	5.461	VV	0.0424	2.77085e6	9.67490e5	16.48520
5	5.585	VV	0.0771	6.02364e6	9.67876e5	35.83776
6	5.815	VV	0.0862	6.52798e6	9.67475e5	38.83831
7	5.924	VV	0.0439	3.61475e4	1.15846e4	0.21506
8	6.246	VV	0.0296	1.32869e5	7.02417e4	0.79050
9	6.377	VV	0.0320	1.55722e4	7428.41309	0.09265
10	6.482	VV	0.0378	4274.27637	1734.05151	0.02543
11	6.545	VV	0.0342	1.82295e4	8124.16553	0.10846

Peak #	RetTime [min]	Type	Width [min]	Area [uV*s]	Height [uV]	Area %
12	6.600	VV	0.0268	2116.09912	1214.21228	0.01259
13	6.659	VV	0.0299	1.49110e5	7.76501e4	0.88713
14	6.748	VV	0.0361	3.37058e5	1.37439e5	2.00533
15	6.842	VV	0.0282	7225.64746	3884.41943	0.04299
16	6.905	VB	0.0357	1709.23035	720.12457	0.01017
17	7.039	BV	0.0336	4719.43262	2197.67065	0.02808
18	7.192	VB	0.0333	1.49851e4	7055.19189	0.08915
19	7.344	BP	0.0337	306.06735	126.81901	0.00182
20	7.526	VV	0.0449	3.07134e4	9702.43652	0.18273
21	7.599	VV	0.0379	833.61566	330.95847	0.00496
22	7.701	VV	0.0374	1429.09045	609.51202	0.00850
23	7.784	VV	0.0358	839.54065	373.07428	0.00499
24	7.852	VV	0.0339	3028.22534	1391.74060	0.01802
25	7.919	VV	0.0359	6019.41357	2567.52173	0.03581
26	8.034	VV	0.0336	5001.33545	2327.54077	0.02976
27	8.117	VV	0.0472	556.11316	167.80276	0.00331
28	8.222	VV	0.0381	2965.08984	1169.58752	0.01764
29	8.342	VV	0.0377	3.90795e4	1.61760e4	0.023250
30	8.433	VV	0.0339	515.26794	223.50311	0.00307
31	8.507	VV	0.0444	2805.40405	964.34973	0.01669
32	8.596	VB	0.0428	3243.85645	1171.39294	0.01930
33	8.708	BV	0.0337	292.39926	116.95497	0.00174
34	8.769	VV	0.0345	1410.60608	621.35492	0.00839
35	8.827	VP	0.0370	454.16724	163.11890	0.00270
36	8.962	BV	0.0392	643.91455	233.27583	0.00383
37	9.082	VV	0.0346	4.14160e5	1.88487e5	2.46405
38	9.223	VV	0.0489	496.10464	139.81506	0.00295
39	9.376	VV	0.0389	302.17017	115.90931	0.00180
40	9.446	VV	0.0353	1821.30127	807.74927	0.01084
41	9.518	VB	0.0426	9851.00098	3575.89185	0.05861
42	9.652	BV	0.0383	253.56737	87.46998	0.00151
43	9.810	VV	0.0363	3828.97534	1637.96558	0.02278
44	9.886	VV	0.0357	4.84395e4	2.11929e4	0.28819
45	10.020	VV	0.0433	1599.53943	543.67346	0.00952
46	10.095	VV	0.0451	544.91803	156.50024	0.00324
47	10.267	VV	0.0601	1950.14844	449.41571	0.01160
48	10.437	VV	0.0648	2516.12085	589.28558	0.01497
49	10.569	VV	0.0405	1337.18872	503.69272	0.00796
50	10.658	VV	0.0431	1607.85486	575.81824	0.00957
51	10.795	VV	0.0472	2413.43042	747.10535	0.01436
52	10.920	VB	0.0502	2468.45923	707.21741	0.01469
53	11.162	BB	0.0420	7.02654e4	2.59917e4	0.41804
54	11.359	BB	0.0654	2838.33325	586.66479	0.01689
55	11.619	VP	0.0490	474.05881	128.64923	0.00282
56	12.080	BP	0.0284	262.13358	118.06193	0.00156
57	12.897	BV	0.0527	1574.38440	456.58328	0.00937
58	13.034	VV	0.0468	1289.19873	397.46735	0.00767
59	13.169	VV	0.0577	3005.46191	750.71503	0.01788
60	13.760	BB	0.0614	415.65469	93.51508	0.00247
61	13.935	BB	0.0648	2213.73389	471.17361	0.01317
62	14.294	PV	0.0392	764.40259	316.19397	0.00455
63	14.373	VV	0.0372	247.74927	99.13099	0.00147
64	14.447	VV	0.0454	742.12415	252.02483	0.00442
65	14.531	VB	0.0368	234.63808	95.00358	0.00140
66	14.794	BB	0.0428	4239.51465	1532.06323	0.02522
67	15.221	FP	0.0453	380.09171	124.01997	0.00226
68	15.373	BB	0.0433	735.62866	258.11230	0.00438
69	16.875	BV	0.0724	562.17157	95.20055	0.00334
70	17.101	VB	0.0688	791.93158	144.76257	0.00471
71	17.373	BV	0.0466	4851.01221	1590.34583	0.02886
72	17.466	VB	0.0414	457.48282	140.74892	0.00272
73	17.795	BP	0.0415	3679.35229	1386.24829	0.02189
74	17.926	BP	0.0503	1065.59802	333.24258	0.00634

Cromatograma 7

(continuação)

Peak #	RetTime [min]	Type	Width [min]	Area [uV*s]	Height [uV]	Area %
75	18.530	BP	0.0462	395.07529	124.04794	0.00235
76	18.885	BP	0.0396	329.35266	109.32082	0.00196
77	19.439	PB	0.0419	510.32632	165.62431	0.00304
78	19.729	BB	0.0459	618.19531	195.41606	0.00368
79	20.016	PP	0.0785	736.38892	121.86524	0.00438
80	20.223	VB	0.0515	3647.48560	1091.77698	0.02170
81	20.898	BP	0.0518	1287.58105	373.19272	0.00766
82	21.350	PP	0.0338	330.97449	125.21423	0.00197
83	21.726	BB	0.0625	9408.49707	2286.02710	0.05598
84	22.542	BV	0.0510	4930.19775	1512.47498	0.02933
85	22.592	VB	0.0416	3390.36572	1232.36853	0.02017
86	22.855	BB	0.0518	6787.37646	2067.89722	0.04038
87	23.910	BP	0.0466	893.70361	288.52444	0.00532
88	24.051	BB	0.0410	358.90753	121.44882	0.00214
89	24.261	PB	0.0486	1078.17383	348.24448	0.00641
90	24.619	BB	0.0406	275.43243	89.10220	0.00164
91	25.004	VP	0.0489	808.25500	245.34840	0.00481
92	25.353	BP	0.0484	379.67319	95.41418	0.00226
93	28.837	BB	0.0425	489.16235	167.67989	0.00291
94	30.387	PB	0.0491	1239.51904	360.87454	0.00737
95	33.508	PP	0.0470	631.28027	186.61421	0.00376
96	33.643	VV	0.0490	376.83481	101.02054	0.00224
97	33.778	VP	0.0470	2134.50220	701.00757	0.01270

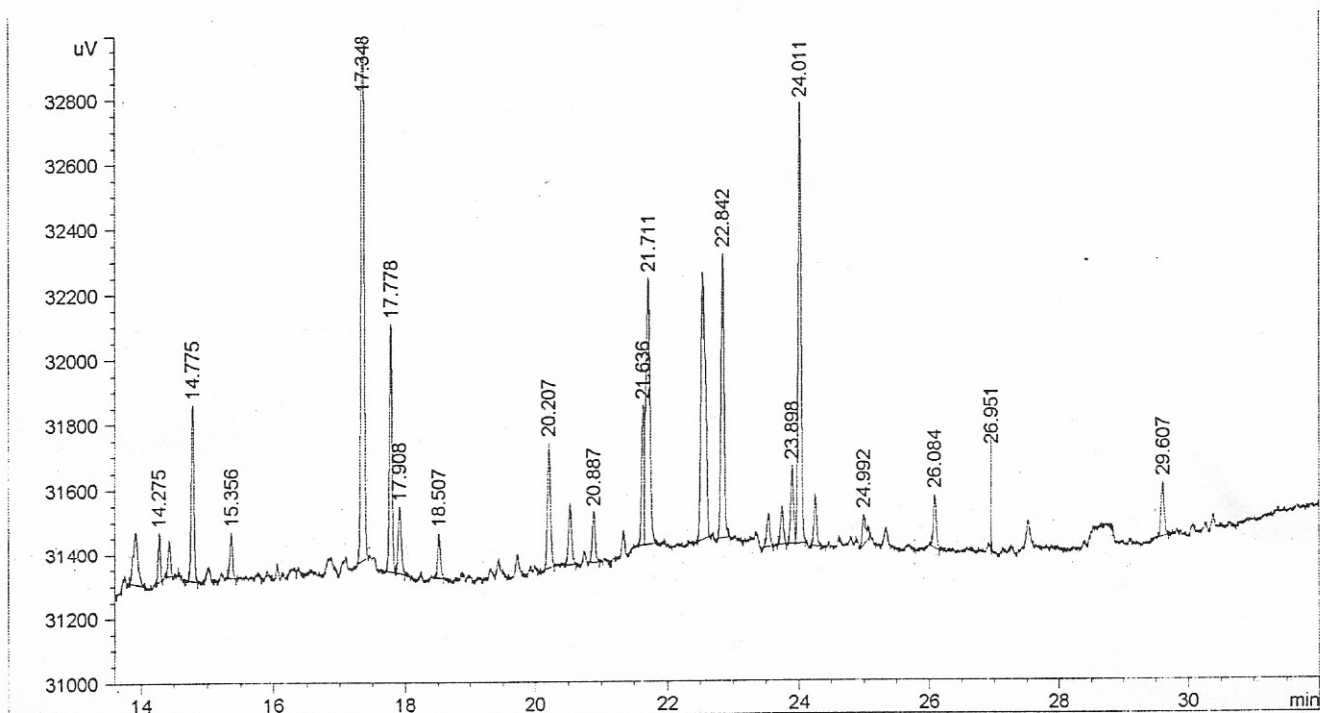
Totals : 1.68081e7 3.54767e6

Results obtained with enhanced integrator!

*** End of Report ***

Cromatograma 7
(continuação)

Cromatograma 8. Relatório da análise cromatográfica dos voláteis extraídos de abacaxi seco (Experimento 5: 40°C – 0,84 m/s – atmosfera normal)



=====
Area Percent Report
=====

Sorted By : Signal
Multiplier : 1.0000
Dilution : 1.0000

Signal 1: ADC1 A, ADC1 CHANNEL A

Peak #	RetTime [min]	Type	Width [min]	Area [uV*s]	Height [uV]	Area %
1	4.990	BP	0.0364	233.80304	92.63813	0.00189
2	5.217	BV	0.0352	1.14774e4	5117.72949	0.09286
3	5.270	VV	0.0275	2510.42578	1360.91040	0.02031
4	5.330	VV	0.0287	1694.99011	911.39868	0.01371
5	5.382	VV	0.0246	5402.41992	3388.68140	0.04371
6	5.448	VV	0.0335	1.72174e6	7.88442e5	13.93026
7	5.525	VV	0.0554	4.18040e6	9.67070e5	33.82277
8	5.603	VV	0.0305	2.19352e4	1.09014e4	0.17747
9	5.787	VV	0.0722	5.73656e6	9.66983e5	46.41337
10	5.907	VB	0.0333	2.05120e4	9103.87207	0.16596

Peak #	RetTime [min]	Type	Width [min]	Area [uV*s]	Height [uV]	Area %
11	6.224	BP	0.0281	8.27799e4	4.58547e4	0.66976
12	6.358	VP	0.0293	9167.83301	4913.57520	0.07418
13	6.442	VV	0.0350	1028.25354	452.93884	0.00832
14	6.525	VV	0.0382	6118.99951	2534.17944	0.04951
15	6.581	VV	0.0265	1291.58752	755.20050	0.01045
16	6.637	VV	0.0299	9.33513e4	4.96557e4	0.75529
17	6.762	VV	0.0384	5.73672e4	2.16508e4	0.46415
18	6.823	VV	0.0293	4967.65234	2599.12207	0.04019
19	6.884	VP	0.0324	991.00220	473.83188	0.00802
20	7.017	VV	0.0341	2940.15967	1339.33557	0.02379
21	7.175	VP	0.0324	1679.12683	802.85077	0.01359
22	7.503	BV	0.0436	1.76575e4	5706.18896	0.14286
23	7.578	VB	0.0349	494.55554	203.21053	0.00400
24	7.678	BV	0.0343	783.81921	347.16898	0.00634
25	7.763	VV	0.0345	563.63855	258.05710	0.00456
26	7.832	VV	0.0334	1868.56665	873.87183	0.01512
27	7.898	VV	0.0344	3671.96069	1623.74609	0.02971
28	8.013	VV	0.0330	3060.15161	1457.22144	0.02476
29	8.096	VV	0.0383	321.21600	107.53372	0.00260
30	8.200	VV	0.0378	1699.83276	676.05182	0.01375
31	8.320	VV	0.0371	2.20841e4	9169.25195	0.17868
32	8.411	VV	0.0359	329.74701	140.29755	0.00267
33	8.484	VV	0.0440	1658.18433	568.51245	0.01342
34	8.575	VB	0.0446	2096.61963	727.77356	0.01696
35	8.686	BV	0.0356	223.05856	83.68338	0.00180
36	8.749	VP	0.0415	1325.64709	448.65536	0.01073
37	8.938	VP	0.0372	369.02032	135.62885	0.00299
38	9.057	VB	0.0344	2.17148e5	9.97370e4	1.75690
39	9.423	VV	0.0339	855.32471	392.42114	0.00692
40	9.495	VB	0.0418	4913.22998	1832.21948	0.03975
41	9.788	BV	0.0351	1905.92322	851.39417	0.01542
42	9.864	VP	0.0353	2.54266e4	1.12600e4	0.20572
43	9.998	VV	0.0395	788.85260	301.28458	0.00638
44	10.071	VB	0.0355	463.92365	193.40015	0.00375
45	10.215	PV	0.0596	1399.30383	322.44400	0.01132
46	10.417	VV	0.0612	1507.59290	343.23502	0.01220
47	10.549	VV	0.0381	721.64771	275.56433	0.00584
48	10.805	PV	0.0628	1775.08569	384.84753	0.01436
49	10.896	VV	0.0466	1143.85608	345.85861	0.00925
50	11.132	VB	0.0416	3.79467e4	1.39978e4	0.30702
51	11.334	BP	0.0633	1625.30627	328.02240	0.01315
52	12.408	BP	0.0387	502.59753	208.15164	0.00407
53	12.879	BB	0.0477	724.68390	195.73383	0.00586
54	13.011	BV	0.0438	581.33325	192.24086	0.00470
55	13.186	VV	0.0541	2713.98389	702.22986	0.02196
56	13.283	VB	0.0414	553.47711	190.70741	0.00448
57	13.914	BB	0.0647	827.56866	163.05701	0.00670
58	14.275	PP	0.0343	359.67459	156.74730	0.00291
59	14.423	PB	0.0330	266.98782	113.13911	0.00216
60	14.775	BP	0.0440	1525.18958	547.09094	0.01234
61	15.356	BP	0.0412	390.44519	143.82376	0.00316
62	17.348	BB	0.0474	6483.15234	2166.91675	0.05245
63	17.778	BB	0.0425	2100.07935	765.61365	0.01699
64	17.908	BP	0.0471	700.98840	209.08780	0.00567
65	18.507	PB	0.0425	437.81345	143.79903	0.00354
66	20.207	BP	0.0500	1246.39246	387.50040	0.01008
67	20.522	BB	0.0430	640.09564	194.02078	0.00518
68	20.887	BP	0.0515	516.11560	158.32945	0.00418
69	21.636	BV	0.0428	1187.13196	429.06216	0.00960
70	21.711	VB	0.0631	3476.02271	816.82452	0.02812
71	22.534	PB	0.0696	4072.78760	824.83124	0.03295
72	22.842	BB	0.0494	2881.14377	874.41412	0.02331
73	23.539	BB	0.0377	317.51953	103.68610	0.00257

Cromatograma 8

(continuação)

Peak #	RetTime [min]	Type	Width [min]	Area [uV*s]	Height [uV]	Area %
74	23.740	BP	0.0436	343.02213	119.01987	0.00278
75	23.898	BV	0.0431	699.82452	239.31693	0.00566
76	24.011	VB	0.0466	4192.55371	1353.86597	0.03392
77	24.250	BB	0.0423	484.64804	160.11026	0.00392
78	24.992	PB	0.0532	394.86090	95.50397	0.00319
79	26.084	BP	0.0403	495.11563	163.76370	0.00401
80	26.951	PB	4.01e-3	66.55695	308.83777	0.00054
81	29.607	PB	0.0415	556.43640	168.61574	0.00450

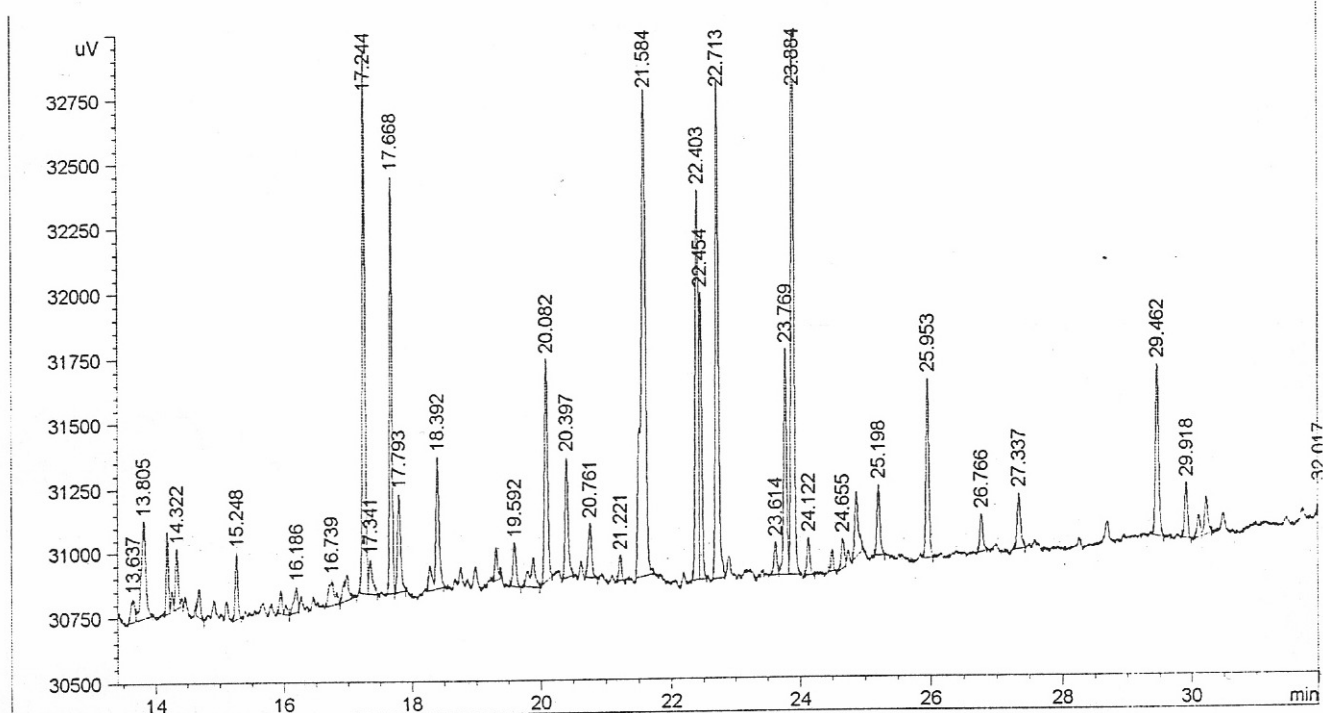
Totals : 1.23597e7 3.04979e6

Results obtained with enhanced integrator!

*** End of Report ***

Cromatograma 8
(continuação)

Cromatograma 9. Relatório da análise cromatográfica dos voláteis extraídos de
abacaxi seco (Experimento 6: 40°C – 0,84 m/s – atmosfera modificada com 0,5% (v/v)
de etanol)



=====
Area Percent Report
=====

Sorted By : Signal
Multiplier : 1.0000
Dilution : 1.0000

Signal 1: ADC1 A, ADC1 CHANNEL A

Peak #	RetTime [min]	Type	Width [min]	Area [uV*s]	Height [uV]	Area %
1	4.908	PB	0.0480	1072.54968	320.63083	0.00777
2	5.131	PV	0.0353	1.65085e4	7195.25195	0.11961
3	5.181	VV	0.0268	3037.01733	1706.48083	0.02200
4	5.242	VV	0.0291	2155.02319	1110.61670	0.01561
5	5.294	VV	0.0260	6263.36621	3755.21533	0.04538
6	5.359	VV	0.0341	1.51634e6	6.77263e5	10.98631
7	5.459	VV	0.0649	4.92907e6	9.67682e5	35.71243
8	5.512	VV	0.0283	2.62101e4	1.34164e4	0.18990
9	5.708	VV	0.0810	6.30120e6	9.67816e5	45.65383
10	6.135	VV	0.0279	1.05342e5	5.87886e4	0.76323

Peak #	RetTime [min]	Type	Width [min]	Area [uV*s]	Height [uV]	Area %
11	6.268	VV	0.0294	1.17118e4	6107.85156	0.08486
12	6.359	VV	0.0371	2990.15601	1261.85864	0.02166
13	6.433	VV	0.0424	8163.07910	3135.24316	0.05914
14	6.490	VV	0.0272	1834.46777	1035.41016	0.01329
15	6.547	VV	0.0286	1.21896e5	6.58884e4	0.88317
16	6.670	VV	0.0366	7.91007e4	3.11807e4	0.57311
17	6.732	VV	0.0302	7221.96045	3639.36890	0.05232
18	6.793	VV	0.0356	1703.06812	706.23956	0.01234
19	6.925	VV	0.0335	3927.70776	1835.44885	0.02846
20	7.083	VB	0.0322	1972.26770	950.19373	0.01429
21	7.411	BV	0.0430	2.50265e4	8225.59180	0.18132
22	7.486	VV	0.0357	723.86786	289.63565	0.00524
23	7.584	VV	0.0363	1082.23804	470.58121	0.00784
24	7.669	VV	0.0325	716.61377	348.75726	0.00519
25	7.739	VV	0.0328	2527.29272	1212.71667	0.01831
26	7.804	VV	0.0346	5041.88770	2251.97900	0.03653
27	7.920	VV	0.0324	4241.99268	2067.92139	0.03073
28	8.001	VV	0.0373	359.16180	129.81651	0.00260
29	8.105	VV	0.0375	2449.16821	1002.09186	0.01774
30	8.225	VV	0.0367	3.25093e4	1.36933e4	0.23554
31	8.317	VV	0.0330	445.59384	208.17259	0.00323
32	8.386	VV	0.0476	2507.03418	821.59113	0.01816
33	8.482	VV	0.0411	2642.34961	1008.84283	0.01914
34	8.653	VV	0.0344	1132.27576	519.62604	0.00820
35	8.708	VP	0.0386	347.15305	134.57939	0.00252
36	8.845	PP	0.0356	443.28918	183.76170	0.00321
37	8.963	VB	0.0338	3.52995e5	1.62673e5	2.55754
38	9.325	VV	0.0340	1350.98181	629.56622	0.00979
39	9.397	VB	0.0447	7995.00732	2811.23486	0.05793
40	9.692	BV	0.0350	3153.66650	1415.51208	0.02285
41	9.767	VV	0.0349	4.16017e4	1.83574e4	0.30142
42	9.901	VV	0.0445	1739.43604	605.93652	0.01260
43	9.976	VP	0.0437	557.89636	170.20729	0.00404
44	10.104	VV	0.0354	659.35400	291.32010	0.00478
45	10.151	VV	0.0358	935.13611	385.52094	0.00678
46	10.321	VV	0.0610	2368.63965	525.88873	0.01716
47	10.448	VV	0.0437	1402.76501	464.52072	0.01016
48	10.671	VV	0.0509	2355.64258	671.99780	0.01707
49	10.794	VV	0.0498	2389.25830	675.33698	0.01731
50	10.970	VV	0.0338	1068.11902	448.29144	0.00774
51	11.040	VB	0.0406	6.90318e4	2.63460e4	0.50015
52	11.230	BV	0.0443	1631.47607	532.15576	0.01182
53	11.280	VB	0.0454	1187.71570	356.28983	0.00861
54	11.493	BP	0.0440	470.10431	138.93425	0.00341
55	11.954	BP	0.0325	245.37617	104.18004	0.00178
56	12.311	PB	0.0350	254.66521	97.51884	0.00185
57	12.772	BV	0.0539	1480.60669	422.72842	0.01073
58	12.906	VB	0.0502	1107.37158	337.77216	0.00802
59	13.045	BV	0.0640	3189.21753	722.62982	0.02311
60	13.167	VB	0.0434	317.73514	90.56933	0.00230
61	13.637	PV	0.0513	369.94476	89.43324	0.00268
62	13.805	VB	0.0689	1886.26611	380.24265	0.01367
63	14.170	PV	0.0383	783.42340	323.22418	0.00568
64	14.322	VP	0.0478	753.50391	232.27286	0.00546
65	14.670	BP	0.0474	368.27356	111.98786	0.00267
66	15.248	PB	0.0419	725.70142	261.14832	0.00526
67	15.945	BP	0.0508	363.44543	93.62378	0.00263
68	16.186	BV	0.0499	410.97372	101.12145	0.00298
69	16.739	PP	0.0769	629.50647	100.02024	0.00456
70	16.975	BP	0.0743	588.83948	97.76450	0.00427
71	17.244	BV	0.0454	6053.23828	2084.13916	0.04386
72	17.341	VB	0.0571	531.00952	131.45239	0.00385
73	17.668	BP	0.0409	4194.59375	1607.14478	0.03039

Cromatograma 9
(continuação)

Peak #	RetTime [min]	Type	Width [min]	Area [uV*s]	Height [uV]	Area %
74	17.793	VB	0.0560	1343.72375	381.99963	0.00974
75	18.392	BB	0.0611	2060.10205	510.08878	0.01493
76	19.301	PB	0.0489	413.12418	127.31203	0.00299
77	19.592	PP	0.0507	563.40802	169.69165	0.00408
78	19.879	BP	0.0758	673.33691	114.23273	0.00488
79	20.082	VB	0.0527	2916.75903	857.69519	0.02113
80	20.397	PB	0.0509	1560.32129	467.53314	0.01130
81	20.761	BP	0.0555	785.04883	210.31096	0.00569
82	21.221	PB	0.0384	252.50661	96.94460	0.00183
83	21.584	BB	0.0741	9357.89551	1879.11938	0.06780
84	22.403	BV	0.0501	5039.21729	1502.00293	0.03651
85	22.454	VB	0.0404	2974.20923	1103.48401	0.02155
86	22.713	BB	0.0499	6256.52295	1923.53320	0.04533
87	23.614	PV	0.0448	402.58359	131.14574	0.00292
88	23.769	VV	0.0485	2728.42627	872.17444	0.01977
89	23.884	VB	0.0492	7247.36768	2334.50830	0.05251
90	24.122	PP	0.0405	439.43948	148.62630	0.00318
91	24.493	BP	0.0399	213.41911	83.27015	0.00155
92	24.655	PV	0.0415	374.27414	119.55447	0.00271
93	24.862	BB	0.0568	1016.87091	253.67567	0.00737
94	25.198	PB	0.0464	879.63800	274.18903	0.00637
95	25.953	BP	0.0472	2091.51563	693.25238	0.01515
96	26.766	PB	0.0476	477.33975	148.15123	0.00346
97	27.337	BP	0.0514	809.92920	217.54651	0.00587
98	29.462	BP	0.0514	2288.75757	661.59088	0.01658
99	29.918	BP	0.0508	687.65997	211.98723	0.00498
100	30.110	PV	0.0442	298.64523	88.80303	0.00216
101	30.230	VB	0.0521	552.10040	145.92017	0.00400
102	32.017	BB	0.0444	351.21744	106.70193	0.00254

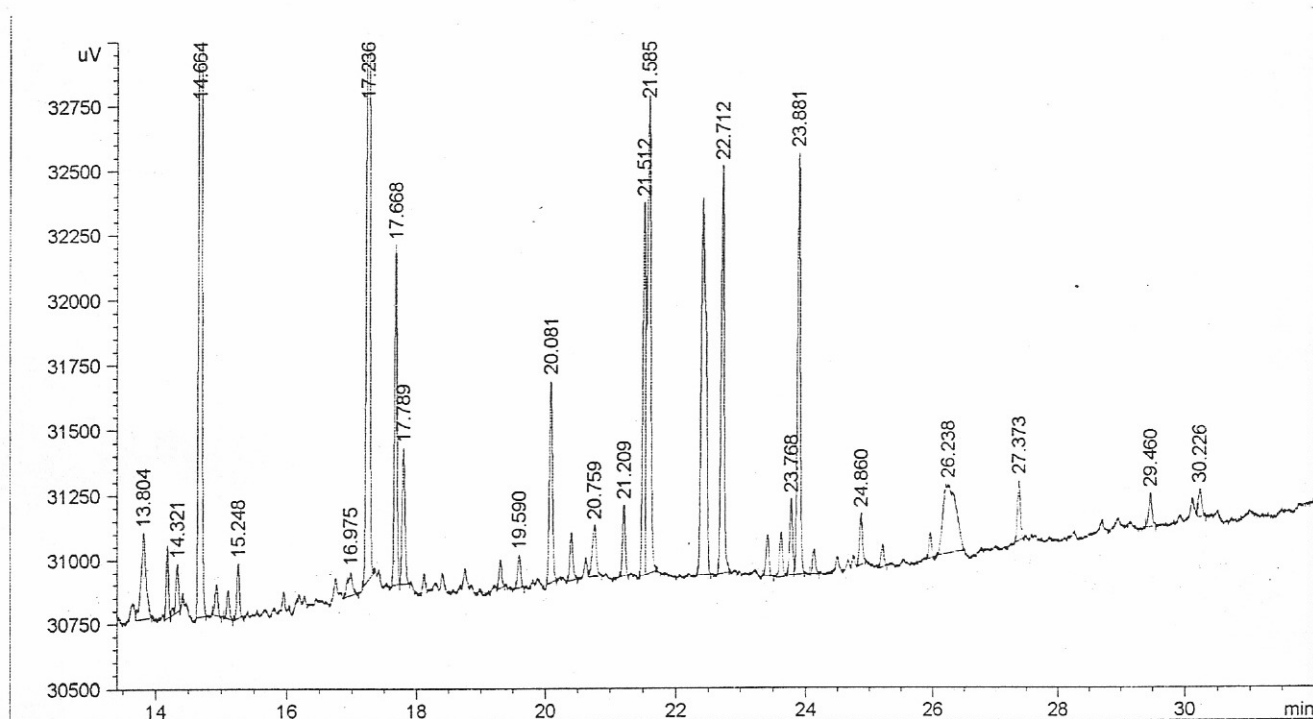
Totals : 1.38021e7 3.08809e6

Results obtained with enhanced integrator!

*** End of Report ***

Cromatograma 9
(continuação)

Cromatograma 10. Relatório da análise cromatográfica dos voláteis extraídos de amostras de abacaxi *in natura* (Fruta 4) utilizado para a secagem no experimento 7 (60°C – 0,84 m/s – atmosfera normal) e no experimento 8 (60°C – 0,84 m/s – atmosfera modificada com 0,5% (v/v) de etanol)



=====
Area Percent Report
=====

Sorted By : Signal
Multiplier : 1.0000
Dilution : 1.0000

Signal 1: ADC1 A, ADC1 CHANNEL A

Peak #	RetTime [min]	Type	Width [min]	Area [uV*s]	Height [uV]	Area %
1	4.901	PB	0.0367	254.70087	98.24024	0.00189
2	5.129	BV	0.0405	1.20842e4	4469.20020	0.08965
3	5.239	VV	0.0299	1101.12366	538.49475	0.00817
4	5.290	VV	0.0245	3581.19873	2252.41699	0.02657
5	5.354	VV	0.0344	1.80342e6	7.96906e5	13.37860
6	5.455	VV	0.0646	4.94348e6	9.67676e5	36.67303
7	5.509	VB	0.0273	1.81139e4	9686.57227	0.13438
8	5.702	BV	0.0729	5.66818e6	9.67446e5	42.04917
9	5.814	VB	0.0301	1.76562e4	8925.41504	0.13098
10	6.131	BB	0.0274	1.06825e5	6.11499e4	0.79247

Peak #	RetTime [min]	Type	Width [min]	Area [uV*s]	Height [uV]	Area %
11	6.265	BP	0.0283	1.12037e4	6139.63184	0.08311
12	6.356	VV	0.0350	2308.50806	1035.38489	0.01713
13	6.430	VV	0.0393	8535.37012	3519.84351	0.06332
14	6.487	VV	0.0271	1752.59949	1017.77582	0.01300
15	6.544	VV	0.0287	1.26419e5	6.94266e4	0.93784
16	6.636	VV	0.0239	2.94131e4	1.91674e4	0.21820
17	6.668	VV	0.0315	6.58248e4	3.13753e4	0.48832
18	6.729	VV	0.0289	6503.84863	3468.57422	0.04825
19	6.791	VP	0.0311	1242.54932	615.36487	0.00922
20	6.924	VV	0.0319	3904.78979	1903.04443	0.02897
21	7.079	VP	0.0319	3237.12573	1583.45898	0.02401
22	7.409	BV	0.0428	2.57131e4	8499.99121	0.19075
23	7.485	VV	0.0365	680.55225	283.19772	0.00505
24	7.585	VP	0.0352	1100.93323	490.43082	0.00817
25	7.667	VV	0.0325	746.67316	362.73865	0.00554
26	7.738	VV	0.0322	2674.31592	1287.03467	0.01984
27	7.802	VV	0.0341	5231.17383	2386.56714	0.03881
28	7.918	VP	0.0316	4353.69092	2151.07056	0.03230
29	8.002	VV	0.0400	349.18338	129.41467	0.00259
30	8.104	VV	0.0378	2500.46338	1013.85712	0.01855
31	8.225	VV	0.0362	3.26921e4	1.39979e4	0.24253
32	8.316	VV	0.0326	416.36993	193.41983	0.00309
33	8.388	VV	0.0466	2258.72192	760.68597	0.01676
34	8.481	VV	0.0413	2850.72510	1079.28552	0.02115
35	8.591	VV	0.0372	240.43112	85.89204	0.00178
36	8.655	VB	0.0387	2303.78296	888.71509	0.01709
37	8.844	PV	0.0387	520.13208	201.20302	0.00386
38	8.963	VB	0.0337	3.34951e5	1.58215e5	2.48482
39	9.101	BV	0.0405	355.63956	112.23109	0.00264
40	9.257	VV	0.0321	236.53880	105.68669	0.00175
41	9.325	VV	0.0341	1419.62903	647.53705	0.01053
42	9.398	VV	0.0449	7814.83350	2732.18555	0.05797
43	9.693	VV	0.0376	3480.06885	1394.22522	0.02582
44	9.768	VV	0.0349	3.94787e4	1.77802e4	0.29287
45	9.901	VV	0.0419	1608.66235	579.21710	0.01193
46	9.973	VV	0.0418	1517.66602	548.29651	0.01126
47	10.118	VV	0.0518	3331.59131	918.99139	0.02472
48	10.321	VV	0.0634	2350.44336	508.61182	0.01744
49	10.449	VV	0.0433	1247.37109	430.17072	0.00925
50	10.709	VV	0.0576	3460.39185	822.24658	0.02567
51	10.795	VV	0.0479	2052.31299	608.26709	0.01523
52	10.972	VV	0.0386	956.89276	377.04996	0.00710
53	11.042	VV	0.0403	6.51093e4	2.50565e4	0.48301
54	11.233	VV	0.0446	1543.35254	491.54358	0.01145
55	11.281	VV	0.0426	972.73969	323.45578	0.00722
56	11.411	VV	0.0368	440.80634	161.69832	0.00327
57	11.491	VB	0.0439	387.79974	116.33820	0.00288
58	11.953	BP	0.0336	207.13312	89.20083	0.00154
59	12.308	BB	0.0378	555.26123	237.15068	0.00412
60	12.773	BV	0.0520	1181.00183	335.84140	0.00876
61	12.906	VV	0.0451	885.17389	294.21738	0.00657
62	13.045	VV	0.0643	2679.97168	575.31189	0.01988
63	13.182	VB	0.0353	330.07910	119.17497	0.00245
64	13.804	VB	0.0680	1793.70007	337.34900	0.01331
65	14.172	PV	0.0357	692.75354	286.73721	0.00514
66	14.321	VV	0.0453	606.60596	192.50037	0.00450
67	14.664	BB	0.0420	1.47214e4	5454.03076	0.10921
68	14.916	BP	0.0453	365.54837	119.20046	0.00271
69	15.095	BP	0.0356	303.63629	107.03951	0.00225
70	15.248	BP	0.0421	594.17694	216.27527	0.00441
71	16.975	PP	0.0620	470.74850	96.34232	0.00349
72	17.236	BB	0.0470	1.36644e4	4618.17529	0.10137
73	17.668	BV	0.0417	3508.13525	1311.43823	0.02602

Cromatograma 10
(continuação)

Peak #	RetTime [min]	Type	Width [min]	Area [uV*s]	Height [uV]	Area %
74	17.789	VB	0.0509	1671.06067	528.11023	0.01240
75	19.301	PB	0.0394	320.82953	115.57201	0.00238
76	19.590	BP	0.0417	431.70358	131.72630	0.00320
77	20.081	BP	0.0511	2554.08057	782.36072	0.01895
78	20.397	PB	0.0453	644.95728	186.52780	0.00478
79	20.759	VB	0.0640	910.42352	200.26935	0.00675
80	21.209	BP	0.0440	801.28851	275.18832	0.00594
81	21.512	PV	0.0455	4383.01074	1438.78137	0.03252
82	21.585	VB	0.0552	6829.02734	1845.19580	0.05066
83	22.406	BB	0.0724	7499.94385	1448.40894	0.05564
84	22.712	BB	0.0517	5084.66943	1573.41846	0.03772
85	23.407	PP	0.0466	505.53506	161.14851	0.00375
86	23.614	PB	0.0476	591.20789	173.97722	0.00439
87	23.768	BV	0.0468	881.50940	295.76602	0.00654
88	23.881	VB	0.0476	4955.56250	1625.32959	0.03676
89	24.121	BP	0.0396	290.75757	95.39427	0.00216
90	24.860	BB	0.0450	647.88599	199.14513	0.00481
91	25.196	PP	0.0416	277.65784	88.39782	0.00206
92	25.948	PB	0.0386	263.62125	97.34860	0.00196
93	26.238	BB	0.1713	3781.55615	263.75119	0.02805
94	27.373	BB	0.0466	726.64404	231.52681	0.00539
95	29.460	BP	0.0500	495.61130	131.32051	0.00368
96	30.226	BP	0.0462	384.35327	108.94447	0.00285

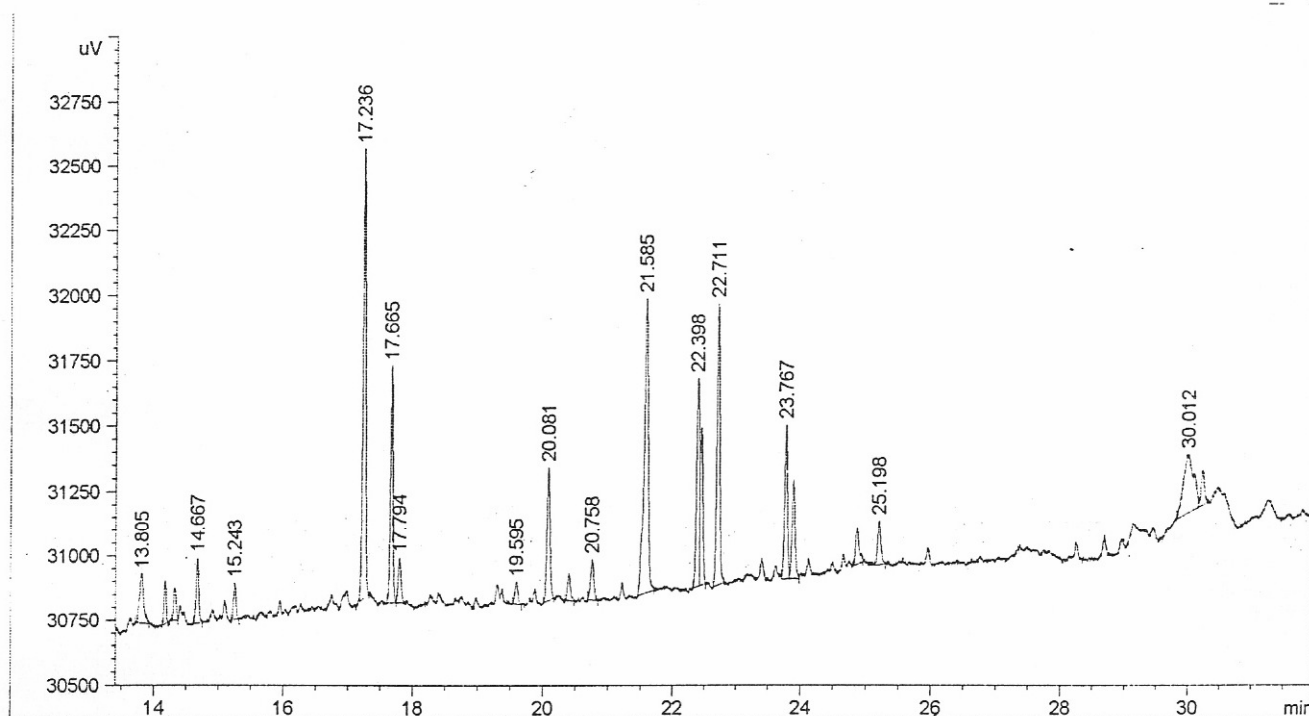
Totals : 1.34799e7 3.23053e6

Results obtained with enhanced integrator!

*** End of Report ***

Cromatograma 10
(continuação)

Cromatograma 11. Relatório da análise cromatográfica dos voláteis extraídos de
abacaxi seco (Experimento 7: 60°C – 0,84 m/s – atmosfera normal)



=====
Area Percent Report
=====

Sorted By : Signal
Multiplier : 1.0000
Dilution : 1.0000

Signal 1: ADC1 A, ADC1 CHANNEL A

Peak #	RetTime [min]	Type	Width [min]	Area [uV*s]	Height [uV]	Area %
1	4.907	PB	0.0368	271.33167	107.95688	0.00219
2	5.132	PV	0.0355	9913.20703	4279.31543	0.08008
3	5.183	VV	0.0259	1873.90442	1071.83850	0.01514
4	5.243	VV	0.0281	1374.05151	741.01385	0.01110
5	5.295	VV	0.0243	4594.29199	2933.79541	0.03711
6	5.359	VV	0.0335	1.69366e6	7.73764e5	13.68175
7	5.444	VV	0.0566	4.28235e6	9.67906e5	34.59373
8	5.514	VB	0.0304	2.08157e4	1.03970e4	0.16815
9	5.704	BV	0.0725	5.64220e6	9.67501e5	45.57889
10	5.817	VB	0.0322	1.99706e4	9236.16602	0.16133

Peak #	RetTime [min]	Type	Width [min]	Area [uV*s]	Height [uV]	Area %
11	6.133	BV	0.0275	8.75693e4	4.99083e4	0.70740
12	6.267	VP	0.0289	9665.09082	5272.07129	0.07808
13	6.353	VV	0.0343	1424.04065	630.69653	0.01150
14	6.433	VV	0.0375	6668.27637	2774.21631	0.05387
15	6.488	VV	0.0263	1414.50476	832.75610	0.01143
16	6.545	VV	0.0289	9.92469e4	5.42243e4	0.80174
17	6.638	VV	0.0230	2.01070e4	1.34268e4	0.16243
18	6.669	VV	0.0317	4.78464e4	2.25795e4	0.38651
19	6.731	VV	0.0291	5267.34033	2776.89307	0.04255
20	6.792	VB	0.0321	1007.79572	487.63397	0.00814
21	6.924	BP	0.0329	3029.70312	1448.68372	0.02447
22	7.080	BP	0.0316	2154.79565	1063.55176	0.01741
23	7.409	BV	0.0433	1.87645e4	6207.24121	0.15158
24	7.485	VV	0.0369	520.78534	209.99092	0.00421
25	7.583	VV	0.0368	822.87555	364.60693	0.00665
26	7.666	VV	0.0335	602.32660	287.33920	0.00487
27	7.737	VV	0.0326	2004.51379	951.42810	0.01619
28	7.802	VV	0.0336	3887.89355	1772.70544	0.03141
29	7.917	VV	0.0325	3262.93481	1585.53857	0.02636
30	7.998	VV	0.0378	285.73242	103.34760	0.00231
31	8.103	VV	0.0365	1771.40698	724.76538	0.01431
32	8.223	VV	0.0366	2.33884e4	9891.86133	0.18894
33	8.313	VV	0.0345	371.93326	157.98804	0.00300
34	8.386	VV	0.0452	1634.12561	549.28351	0.01320
35	8.478	VV	0.0412	2004.06531	761.08820	0.01619
36	8.651	VV	0.0358	1005.26892	437.22653	0.00812
37	8.703	VB	0.0342	277.79794	112.86089	0.00224
38	8.840	PP	0.0371	366.27121	135.36504	0.00296
39	8.960	VB	0.0333	2.31121e5	1.08802e5	1.86704
40	9.109	BB	0.0446	436.73163	125.54552	0.00353
41	9.322	VV	0.0336	896.56836	417.28604	0.00724
42	9.395	VB	0.0426	5144.43018	1898.68054	0.04156
43	9.689	BV	0.0348	2046.32446	925.69489	0.01653
44	9.765	VV	0.0343	2.69487e4	1.21745e4	0.21770
45	9.897	VV	0.0415	910.57611	326.76276	0.00736
46	9.971	VP	0.0446	346.69830	104.66075	0.00280
47	10.146	VV	0.0608	1301.24805	276.88785	0.01051
48	10.318	VV	0.0619	1495.53284	339.18237	0.01208
49	10.445	VB	0.0456	883.55878	285.59161	0.00714
50	10.670	BV	0.0486	1384.62671	402.39139	0.01119
51	10.792	VB	0.0479	1346.69031	399.16544	0.01088
52	11.033	BB	0.0412	4.30169e4	1.63467e4	0.34750
53	11.228	BV	0.0450	985.53857	319.20731	0.00796
54	11.272	VP	0.0417	586.70325	209.37260	0.00474
55	12.770	PV	0.0523	769.89075	217.23494	0.00622
56	12.904	VB	0.0466	638.20947	203.65565	0.00516
57	13.037	BP	0.0563	1562.41418	365.81253	0.01262
58	13.805	BB	0.0648	891.58502	191.63091	0.00720
59	14.166	PB	0.0353	372.52341	171.89497	0.00301
60	14.312	PV	0.0366	360.89029	131.27231	0.00292
61	14.667	BP	0.0423	704.78442	254.72852	0.00569
62	15.243	BP	0.0394	392.11240	143.35229	0.00317
63	17.236	BB	0.0467	5153.53613	1735.03442	0.04163
64	17.665	BB	0.0429	2452.75610	912.19702	0.01981
65	17.794	BB	0.0400	537.67828	174.32669	0.00434
66	19.595	BP	0.0418	281.36108	85.78316	0.00227
67	20.081	BB	0.0497	1688.86780	515.38867	0.01364
68	20.398	PB	0.0414	340.58466	106.33299	0.00275
69	20.758	BP	0.0500	527.12787	155.50751	0.00426
70	21.585	BB	0.0693	5131.83545	1133.39551	0.04146
71	22.398	BV	0.0490	2585.88452	803.72638	0.02089
72	22.452	VB	0.0422	1682.83142	609.66168	0.01359
73	22.711	PB	0.0505	3440.70068	1084.18640	0.02779

Cromatograma 11
(continuação)

Peak #	RetTime [min]	Type	Width [min]	Area [uV*s]	Height [uV]	Area %
74	23.767	BV	0.0464	1805.89172	595.46112	0.01459
75	23.882	VP	0.0521	1233.91455	378.17648	0.00997
76	24.861	PB	0.0519	542.59821	144.21568	0.00438
77	25.198	PB	0.0493	592.47601	171.65800	0.00479
78	30.012	BV	0.1334	2517.26074	225.23087	0.02033
79	30.228	VB	0.0532	521.33142	137.57034	0.00421

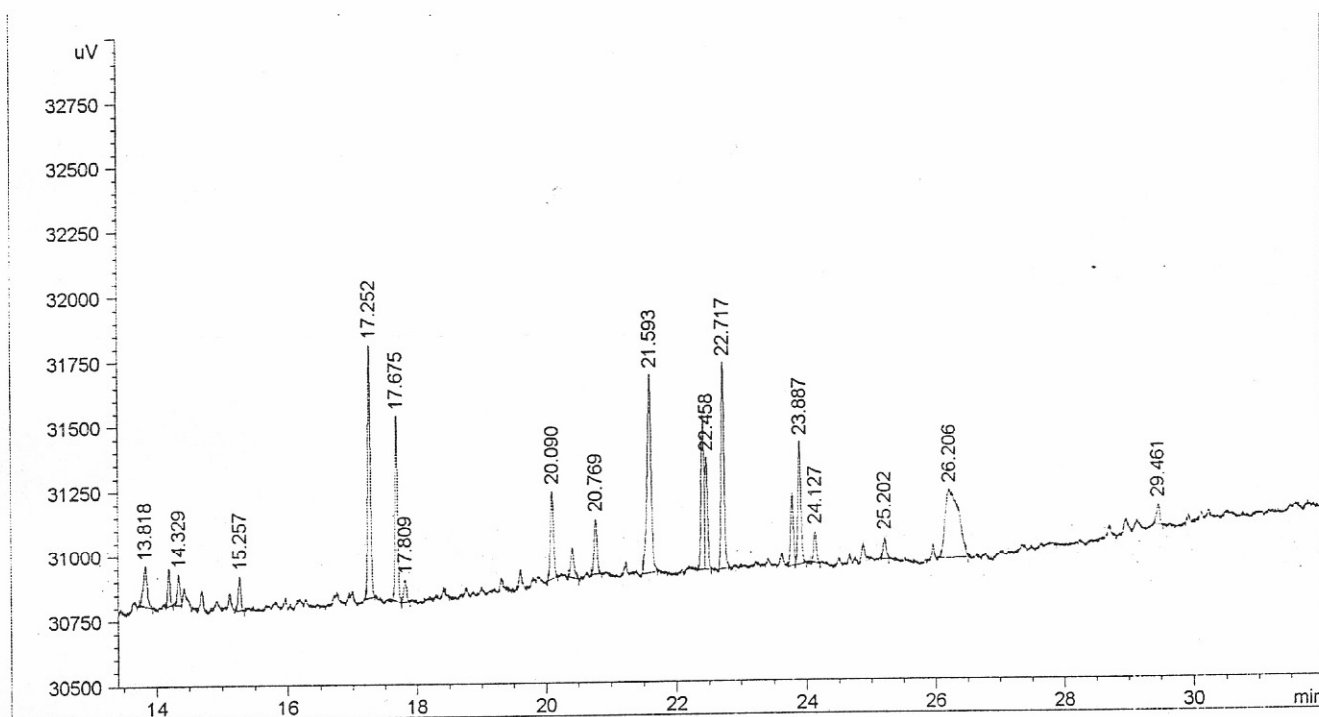
Totals : 1.23790e7 3.07162e6

Results obtained with enhanced integrator!

*** End of Report ***

Cromatograma 11
(continuação)

Cromatograma 12. Relatório da análise cromatográfica dos voláteis extraídos de abacaxi seco (Experimento 8: 60°C – 0,84 m/s – atmosfera modificada com 0,5% (v/v) de etanol)



=====
Area Percent Report
=====

Sorted By : Signal
Multiplier : 1.0000
Dilution : 1.0000

Signal 1: ADC1 A, ADC1 CHANNEL A

Peak #	RetTime [min]	Type	Width [min]	Area [uV*s]	Height [uV]	Area %
1	5.131	BV	0.0343	1.01601e4	4601.49854	0.08856
2	5.185	VV	0.0283	2885.91138	1543.78979	0.02516
3	5.245	VV	0.0279	1876.02820	1023.76831	0.01635
4	5.297	VV	0.0257	5950.31494	3620.01514	0.05187
5	5.363	VV	0.0317	1.42430e6	6.86121e5	12.41541
6	5.438	VV	0.0529	3.97485e6	9.67602e5	34.64822
7	5.517	VB	0.0300	2.18133e4	1.10818e4	0.19014
8	5.684	BV	0.0681	5.44227e6	9.67428e5	47.43953
9	5.821	VB	0.0302	1.65677e4	8341.19336	0.14442
10	6.138	BB	0.0275	7.65147e4	4.36370e4	0.66697

Peak #	RetTime [min]	Type	Width [min]	Area [uV*s]	Height [uV]	Area %
11	6.272	BP	0.0289	8496.42187	4642.53320	0.07406
12	6.359	VV	0.0353	1005.82617	437.80801	0.00877
13	6.439	VV	0.0391	5585.70264	2317.22461	0.04869
14	6.494	VV	0.0268	1248.10120	718.54749	0.01088
15	6.552	VV	0.0289	8.49040e4	4.63458e4	0.74010
16	6.677	VV	0.0362	4.55834e4	1.85341e4	0.39734
17	6.738	VV	0.0286	4516.52930	2385.80420	0.03937
18	6.799	VB	0.0311	896.69708	433.25800	0.00782
19	6.932	BP	0.0331	2581.01099	1226.23413	0.02250
20	7.089	BP	0.0313	1255.30286	628.65271	0.01094
21	7.418	BV	0.0429	1.56711e4	5169.85645	0.13660
22	7.493	VV	0.0349	407.98422	173.90846	0.00356
23	7.593	VV	0.0360	659.29675	301.83453	0.00575
24	7.676	VV	0.0330	475.38943	221.48459	0.00414
25	7.747	VV	0.0327	1649.64246	796.81812	0.01438
26	7.812	VV	0.0341	3242.33789	1475.94263	0.02826
27	7.928	VP	0.0320	2663.93408	1320.31641	0.02322
28	8.113	VV	0.0372	1447.98352	598.65149	0.01262
29	8.234	VV	0.0365	1.95273e4	8289.46094	0.17022
30	8.327	VV	0.0297	249.44716	120.08501	0.00217
31	8.398	VV	0.0428	1214.83350	413.28763	0.01059
32	8.491	VV	0.0415	1616.24268	618.03046	0.01409
33	8.662	VV	0.0381	879.76123	335.11929	0.00767
34	8.853	PP	0.0366	318.67487	121.55868	0.00278
35	8.972	VP	0.0339	1.90698e5	8.95206e4	1.66229
36	9.335	VV	0.0346	774.06567	352.45401	0.00675
37	9.409	VP	0.0431	4343.74121	1579.04810	0.03786
38	9.702	BV	0.0343	1666.60547	767.34967	0.01453
39	9.779	VP	0.0348	2.22683e4	1.00521e4	0.19411
40	9.911	VV	0.0396	632.37390	240.75151	0.00551
41	10.116	PV	0.0346	347.36285	155.24396	0.00303
42	10.162	VV	0.0351	534.66705	218.03334	0.00466
43	10.329	VV	0.0624	1234.81714	272.53842	0.01076
44	10.459	VB	0.0462	754.30518	243.35388	0.00658
45	10.682	BV	0.0473	1109.21997	338.02267	0.00967
46	10.807	VB	0.0502	1145.76147	328.05927	0.00999
47	11.047	BB	0.0409	3.44193e4	1.30082e4	0.30003
48	11.244	BP	0.0670	1325.07922	266.39697	0.01155
49	12.783	PV	0.0535	679.70428	184.59892	0.00592
50	12.918	VP	0.0405	471.42862	152.98003	0.00411
51	13.055	VB	0.0525	1227.78699	307.79803	0.01070
52	13.818	BB	0.0586	675.72345	159.03824	0.00589
53	14.181	PB	0.0382	349.80795	147.08876	0.00305
54	14.329	PV	0.0447	343.47165	122.48843	0.00299
55	15.257	PP	0.0366	347.94022	132.54898	0.00303
56	17.252	BB	0.0463	2844.66235	980.48126	0.02480
57	17.675	BP	0.0415	1936.36560	716.21326	0.01688
58	17.809	BP	0.0465	277.00449	87.40930	0.00241
59	20.090	BB	0.0504	1146.68347	343.69479	0.01000
60	20.410	BP	0.0440	421.77969	119.88206	0.00368
61	20.769	BB	0.0478	664.77740	216.39484	0.00579
62	21.593	BB	0.0646	3364.50610	767.44220	0.02933
63	22.406	PV	0.0483	1871.29016	593.77466	0.01631
64	22.458	VB	0.0420	1228.71191	433.98300	0.01071
65	22.717	BB	0.0493	2551.52563	799.05176	0.02224
66	23.773	PV	0.0459	857.20935	286.76129	0.00747
67	23.887	VB	0.0477	1491.36108	474.64606	0.01300
68	24.127	BP	0.0360	356.00104	127.66375	0.00310
69	25.202	BP	0.0399	277.04962	90.14817	0.00242
70	26.206	BP	0.1701	3817.31934	266.49893	0.03328
71	29.461	BP	0.0438	277.97842	83.62599	0.00242

Totals :

1.14720e7 2.91756e6

Cromatograma 12
(continuação)

Results obtained with enhanced integrator!

=====
*** End of Report ***

Cromatograma 12 (continuação)
