UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CENTRO TECNOLÓGICO
CURSO DE MESTRADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

TONYE GIL MATOS WAUGHON

CARACTERIZAÇÃO E PROCESSAMENTO DO RESÍDUO FIBROSO GERADO NA INDUSTRIALIZAÇÃO DO SUCO DE ABACAXI

BELÉM
2006

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CENTRO TECNOLÓGICO
CURSO DE MESTRADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

TONYE GIL MATOS WAUGHON

CARACTERIZAÇÃO E PROCESSAMENTO DO RESÍDUO FIBROSO GERADO NA INDUSTRIALIZAÇÃO DO SUCO DE ABACAXI

Dissertação de Mestrado apresentado ao Programa de mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Pará, para obtenção do grau de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

ORIENTADOR :
Prof. Dr. Rosinelson da Silva Pena

BELÉM
2006

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CENTRO TECNOLÓGICO
CURSO DE MESTRADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

TONYE GIL MATOS WAUGHON

CARACTERIZAÇÃO E PROCESSAMENTO DO RESÍDUO FIBROSO GERADO NA INDUSTRIALIZAÇÃO DO SUCO DE ABACAXI

BANCA EXAMINADORA :

Prof. Dr. Rosinelson da Silva Pena – Orientador
DEQAL/CT/UFPA

Prof. Dr. Herve Rogez
DEQAL/CT/UFPA

Prof. Dr. Éder Augusto Furtado Araújo
(DETA/UEPA)

AGRADECIMENTOS

Esse trabalho não seria possível sem a colaboração de diversos amigos os quais eu gostaria de deixar registrado os meus sinceros agradecimentos.

Primeiramente a Deus, pelas oportunidades, pela força dada em todos os momentos de dificuldade e principalmente pela vida alegre que Ele me proporciona.

Aos meus pais, Antonio Rocha Waughon e Marlene Matos Waughon, juntamente com meus irmãos, que sempre foram a base de minha vida e nunca me deixaram - sem música durante essa trilha.

Aos que me acolheram com muito carinho nessa cidade meus tios Paulo Roberto Matos, Onelha Vieira Matos, Marilene Matos e seus filhos. À Elaine Figueiredo que me acolheu e me apoiou durante todo o curso.

Ao meu orientador Dr. Rosinelson Pena, e ao professor Dr. Hervé Rogez pelos ensinamentos, pela disponibilidade e principalmente pelo respeito com que me trataram. Apesar de todos os meus defeitos durante o curso.

Ao Prof. Dr. Antonio Manoel Rodrigues, pelo apoio durante as etapas de secagem e colaborações no trabalho.

Aos meus amigos de turma que formaram uma “equipe de mestrado”, humilde, honesta, solidária a qual eu me orgulho muito de ter convivido e estudado durante esse período do curso.

Gostaria de agradecer também, àqueles que contribuíram indiretamente no trabalho de dissertação, mas que foram importantíssimos no meu aprendizado durante o curso : Jesus, Prof. Elisa, Evaldo, Darly, Heloísa, Wellington e a nata do LEQ.

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi caracterizar o resíduo fibroso gerado na industrialização do suco de abacaxi e estudar seu aproveitamento, através da secagem; visando obter um produto rico em fibras dietéticas. O resíduo caracterizado apresentou um elevado teor de fibras (32,95% b.s.). A secagem foi realizada em secador de leito fixo, em camada delgada, utilizando planejamento fatorial completo a três níveis, com triplicata no ponto central. As variáveis de entrada foram: temperatura (50°C, 60°C e 70ºC) e velocidade do ar (2,0 m/s; 2,5 m/s e 3,0 m/s). As variáveis de resposta avaliadas foram: umidade de equilíbrio, tempo de secagem, taxa de secagem a velocidade constante e coloração final do produto. Os resultados obtidos através da análise de variância mostraram que, a temperatura foi a variável de entrada que apresentou maior influência sobre as variáveis de resposta analisadas, não exercendo influência significativa apenas sobre a cor do produto. Avaliou-se também, o comportamento higroscópico do resíduo após secagem. Foram construídas isotermas de adsorção e dessorção de umidade a 25 e 40ºC e determinados os valores da monocamada BET (m_o). O produto apresentou isotermas de sorção do Tipo III. Os valores médios da monocamada (m_o) para adsorção e dessorção foram de 11,6 g H_2O/100 g b.s. e 12,7 g H_2O/100 g b.s., respectivamente.

ABSTRACT

The aim of this work was to characterize the fibrous residue generated in the industrialization of pineapple juice and to study its improvement, by drying, aiming to get a rich dietary fiber product. The characterized residue presented high content of fiber (32.95% on dry base). The dryer was carried through a fix-bed dryer, in thin layer, using complete factorial design in three levels, with triplicate in the central point. The independent variables were temperature (50°C, 60°C and 70ºC) and velocity of air (2.0 m/s; 2.5 m/s and 3.0 m/s). The evaluated dependent variables were: final moisture of dry product, dry time, drying rate on constant speed and color of the product. The results obtained from the variance analysis showed, that the temperature was the input variable, which presented greatest influence in the output variables, and excepted for the color of the product. The hygroscopic behavior of pineapple fiber, dried in fix-bed dryer was evaluated. The adsorption and desorption isotherm were drawed at 25°C and 45°C and the BET monolayer value (m_o) calculated. The product presented the sorption isotherm Type III. The values of m_o obtained for adsorption and desorption were 11.6 g H_2O/100 g dry matter and 12.7 g H_2O/100g dry matter, respectively.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fluxograma de obtenção do suco concentrado de abacaxi. 14
Figura 2. Estrutura química da Celulose. 15
Figura 3. Estrutura química da Pectina. 16
Figura 4. Estrutura química da β-glucana.....16
Figura 5. Estrutura química da Inulina. 17
Figura 6. Esquema do método de determinação de fibras da AOAC 19
Figura 7. Representação gráfica de isotermas de sorção de umidade.....24
Figura 8. Diagrama de cromaticidade.....27
Figura 9. Resíduo fibroso do abacaxi estudado. 28
Figura 10. Visão esquemática do secador de leito fixo utilizado. 31
Figura 11. Curvas de secagem do resíduo para velocidade do ar de 2,0 m/s.....37
Figura 12. Curvas de secagem do resíduo para velocidade do ar de 2,5 m/s.....38
Figura 13. Curvas de secagem do resíduo para velocidade do ar de 3,0 m/s.....38
Figura 14. Curvas de secagem do resíduo na temperatura de 50°C.....38
Figura 15 Curvas de secagem do resíduo na temperatura de 60°C.....39
Figura 16. Curvas de secagem do resíduo na temperatura de 70°C.....39
Figura 17. Cinética de secagem do resíduo com V_{ar} de 2,0 m/s (W_T x t). 41
Figura 18. Cinética de secagem do resíduo com V_{ar} de 2,5 m/s (W_T x t). 41
Figura 19. Cinética de secagem do resíduo com V_{ar} de 3,0 m/s (W_T x t). 42
Figura 20. Cinética de secagem do resíduo a 50°C (W_T x t). 42
Figura 21. Cinética de secagem do resíduo a 60°C (W_T x t). 42
Figura 22. Cinética de secagem do resíduo a 70°C (W_T x t). 43
Figura 23. Cinética de secagem do resíduo com V_{ar} de 2,0 m/s (W_T x X_{bs}). 43
Figura 24. Cinética de secagem do resíduo com V_{ar} de 2,5 m/s (W_T x X_{bs}). 43
Figura 25. Cinética de secagem do resíduo com V_{ar} de 3,0 m/s (W_T x X_{bs}). 44
Figura 26. Cinética de secagem do resíduo a 50°C (W_T x X_{bs}). 44
Figura 27. Cinética de secagem do resíduo a 60°C (W_T x X_{bs}). 44
Figura 28. Cinética de secagem do resíduo a 70°C (W_T x X_{bs}). 45
Figura 29. Umidade de equilíbrio em função da velocidade do ar e temperatura. 46
Figura 30. Tempo de secagem em função da velocidade do ar e temperatura.....46
Figura 31. Taxa de secagem em função da velocidade do ar e temperatura. 47

Figura 32. Isotermas de adsorção e dessorção a 25ºC para o resíduo do abacaxi. 49
Figura 33. Isotermas de adsorção e dessorção a 25ºC para o resíduo do abacaxi. 49
Figura 34. Efeito da temperatura nas isotermas de adsorção do resíduo do abacaxi. 50
Figura 35. Efeito da temperatura nas isotermas de dessorção do resíduo do abacaxi. 50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Planejamento de experimentos utilizado na secagem do resíduo. 31
Tabela 2. Composição média do resíduo do abacaxi. 35
Tabela 3. Composição em constituintes das fibras no resíduo do abacaxi.....36
Tabela 4. Dados de secagem do resíduo do abacaxi nas diferentes condições. 37
Tabela 5. Parâmetros dos ajustes dos modelos linear e de Midilli et al.....40
Tabela 6. Taxas de secagem do resíduo do abacaxi nas diferentes condições. 40
Tabela 7. Planejamento experimental: resultados dos ensaios de secagem.....45
Tabela 8. Dados de equilíbrio de adsorção e dessorção de umidade. 48

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 12
2. REVISÃO DA LITERATURA 13
2.1. CONSIDERAÇÕES SOBRE O ABACAXI 13
2.2. FIBRAS DIETÉTICAS 14
2.2.1. Introdução 14
2.2.2. Definição 15
2.2.3. Classificação 15
2.2.4. Benefícios obtidos pela ingestão de fibra dietética 17
2.2.5. Determinação de fibras dietéticas 18
2.3. SECAGEM DE ALIMENTOS 20
2.4. CONTEÚDO DE UMIDADE E ATIVIDADE DE ÁGUA 21
2.4.1. Introdução 21
2.4.2. Definição de atividade de água 22
2.4.3. Determinação de atividade de água 23
2.5. ISOTERMAS DE SORÇÃO DE UMIDADE 24
2.5.1. Definição 24
2.5.2. Determinação de Isotermas de sorção 25
2.5.3. Aplicações das isotermas de sorção 25
2.6. COLORIMETRIA TRISTÍMULO 26
3. MATERIAL E MÉTODOS 28
3.1. MATÉRIA-PRIMA 28
3.2. CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA PRIMA 28
3.3. CARACTERIZAÇÃO DAS FIBRAS DIETÉTICAS 30
3.4. SECAGEM DO RESÍDUO 30
3.4.1. Obtenção dos dados de secagem 30
3.4.2. Estudo da cinética de secagem 32
3.5. DETERMINAÇÃO DA COR 33
3.6. AVALIAÇÃO HIGROSCÓPICA DO RESÍDUO SECO 33
3.6.1. Obtenção dos dados de equilíbrio 33
3.6.2. Isotermas de adsorção e dessorção 34
3.6.3. Determinação da monocamada 34
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES 35

4.1. CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO RESÍDUO 35
4.2. SECAGEM DO RESÍDUO DO ABACAXI 36
4.2.1. Curvas de secagem 36
4.2.2. Cinética do processo de secagem 39
4.2.3. Avaliação estatística dos dados de secagem 45
4.3. ISOTERMAS DE SORÇÃO DE UMIDADE 47
5. CONCLUSÕES 52
REFERENCIAS 53
ANEXOS 56

1. INTRODUÇÃO

O abacaxi (*Ananas comosus* L.) é uma fruta típica dos países de clima tropical, muito utilizado na fabricação de suco concentrado, suco natural e em conserva. O Brasil é um dos maiores produtores da fruta no mundo (aproximadamente 1,4 bilhões de frutos, em 2003), sendo o estado do Pará o segundo maior produtor de abacaxi no Brasil (IBGE, 2004).

A fração residual média da fruta é de aproximadamente 77,5%, onde a maioria é a parte vegetativa. O grande desafio das indústrias de alimentos é encontrar formas viáveis de aproveitamento de seus resíduos (subprodutos), para que os mesmos sejam revertidos em benefícios financeiros para a indústria (BOTELHO; CONCEIÇÃO; CARVALHO, 2002).

Na elaboração do suco de abacaxi é descartado, além da casca e coroa, parte da polpa potencialmente rica em fibras, a qual poderia ser aproveitada na elaboração de novos produtos, devido principalmente, aos diversos benefícios à saúde humana proporcionados pela ingestão de fibras dietéticas.

As fibras dietéticas são o conjunto de carboidratos dos alimentos vegetais, que resistem a hidrólise pelas enzimas do tubo digestivo. Possuem baixo valor calórico, porém influenciam em diversos aspectos da digestão, absorção e metabolismo dos nutrientes.

Os benefícios fisiológicos proporcionados pelas fibras insolúveis estão relacionados principalmente ao aspecto físico, aumentando a massa do bolo fecal e diminuindo o tempo de trânsito intestinal. Já as fibras solúveis em meio aquoso formam sistemas viscosos e tendem a retardar o esvaziamento gástrico e a absorção de nutrientes.

O presente trabalho tem como objetivo caracterizar o resíduo fibroso gerado no beneficiamento do suco do abacaxi, principalmente no que se refere à qualidade das fibras dietéticas e estudar o beneficiamento do mesmo, através da secagem em camada delgada, visando obter um produto rico em fibras dietéticas, preferencialmente para ser utilizado como complemento alimentar humano.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. CONSIDERAÇÕES SOBRE O ABACAXI

O abacaxi ou ananás (*Ananas comosus* L.) é uma fruta muito apreciada e extensivamente cultivada na maioria dos países tropicais. As formas mais freqüentes de comercialização são *in natura*, em conserva, suco natural e suco concentrado. Possui em sua composição ferro, potássio, cálcio, as vitaminas A, B_1, B_2 e C, fibras; além do alto teor de açúcar (em torno de 15%) e outros compostos orgânicos (MEDINA et al., 1978).

A maior parte da exportação brasileira de abacaxi se dá na forma de fruta fresca, exigindo cuidados especiais na fase de colheita, pós-colheita, e transporte, o qual deve ser realizado sob refrigeração.

O abacaxi é a oitava fruta mais produzida no mundo, sendo a sétima entre as produzidas no Brasil. É uma fruta de grande importância para exportação em conserva e para produção de sucos. O Brasil é o maior produtor de abacaxi da América do Sul, e o terceiro maior do mundo, produzindo aproximadamente 1,4 bilhões de frutos no ano de 2003, com um rendimento médio de 24.833 frutos por hectare.

O Estado do Pará ocupa uma posição de destaque, sendo o segundo maior produtor de abacaxi do Brasil, onde em 2003 produziu aproximadamente 17% da produção nacional, com um rendimento de 25.175 frutos por hectare (IBGE, 2004).

Os principais produtos da industrialização do abacaxi são: fruta em calda e suco. O Estado do Pará destaca-se no beneficiamento do fruto quando se trata do suco concentrado, contribuindo com 76,8% das exportações brasileiras de suco concentrado de abacaxi em 2001 (AMIM; BOULHOSA, 2002).

Na Figura 1 é apresentado o fluxograma de beneficiamento do suco concentrado de abacaxi, fornecido pela indústria Sucos da Amazônia Agroindustrial Ltda – SUCASA, instalada no município de Castanhal, estado do Pará. A indústria utiliza este processo no beneficiamento do produto e foi quem forneceu o resíduo utilizado neste estudo.

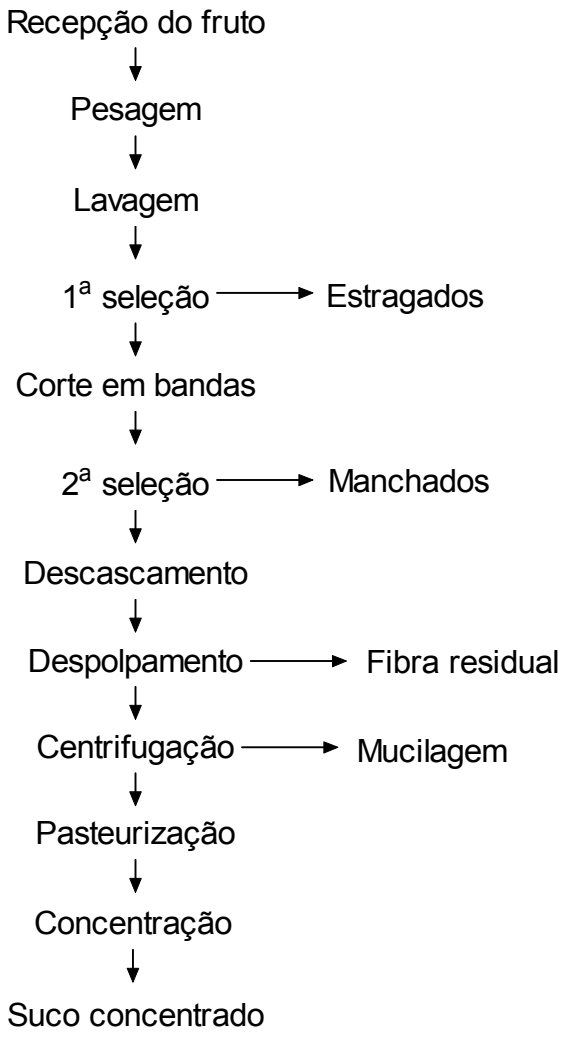

Figura 1. Fluxograma de obtenção do suco concentrado de abacaxi.

2.2. FIBRAS DIETÉTICAS

2.2.1. Introdução

A dinâmica dos dias atuais levou a grande maioria da população a fazer suas refeições próximas ao ambiente de trabalho, em lanchonetes, padarias, entre outros; consumindo, normalmente, sanduíches, salgados, refrigerantes; de um modo geral alimentos pobres em fibras. A deficiência desse componente na alimentação humana pode acarretar diversos males à saúde, principalmente, problemas no trato gastrointestinal (CONTI, 1990).

2.2.2. Definição

As fibras dietéticas (FD) podem ser definidas como carboidratos complexos de origem vegetal, que resistem a hidrólise pelas enzimas endógenas do trato digestivo humano (POURCHET-CAMPOS, 1990), algumas sendo parcialmente digeridas pelas bactérias no intestino grosso (CAMBRODÓN; MARTIN-CARRÓN, 2001). Atualmente esta definição inclui amido resistente e outras substâncias que produzem efeitos fisiológicos semelhantes.

As principais fontes de FD são componentes de paredes celulares (celulose, hemicelulose, lignina e substâncias pécticas), componentes não estruturais (gomas e mucilagem) e aditivos industriais (celulose modificada, pectina modificada e gomas comerciais) (GORINSTEIN; GRIGELMO-MIGUEL; MARTIN-BELLOSO, 1999).

2.2.3. Classificação

As fibras são divididas em dois grupos, baseado em suas solubilidades em água: fibras insolúveis (lignina, celulose e algumas hemiceluloses) e fibras solúveis (pectinas, gomas, mucilagens e as demais hemiceluloses) (SILVA et al., 2003).

A celulose (Figura 2) é a mais abundante de todas as combinações orgânicas e representa o componente principal da parede celular das plantas. É composta de várias moléculas de glicose unidos por ligações β (1-4), que se associam através de pontes de hidrogênio formando as microfibrilas. O número de unidades monoméricas de glicose varia de acordo com a fonte e oscila entre 300 e 3000 unidades (MANRIQUE; LAJOLO, 1978).

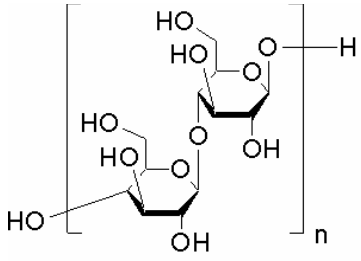

Figura 2. Estrutura química da Celulose.

As hemiceluloses diferem estruturalmente das celuloses pelo fato de possuírem outras unidades monoméricas além da glicose (como xylose e manose). Possuem a capacidade de se ligar às fibrilas de celulose através de pontes de

hidrogênio. As principais hemiceluloses são: xilanas, glucomananas, mananas, galactomananas e xiloglucanas (MANRIQUE; LAJOLO, 1978).

Entre as fibras solúveis as pectinas (Figura 3) são as mais importantes, devido as suas grandes incidências nas frutas. As pectinas são cadeias longas de ácido galacturônico com conteúdos variáveis de metiléster, bastante solúveis em água, formadores de géis (FENNEMA, 2000)

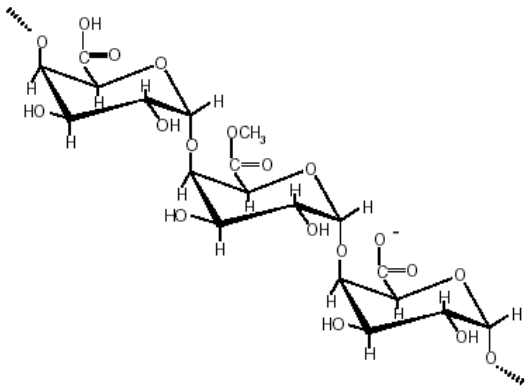

Figura 3. Estrutura química da Pectina.

As (1,3)(1,4)-β-D-glucanas (Figura 4) são polímeros encontrados em pequenas quantidades, em diversos tecidos dos principais cereais e são o principal componente das paredes celulares da aveia e da cevada. São solúveis em água, com tendências a formar soluções viscosas e géis. Têm estrutura linear, não ramificada, composta por unidades de glicose, unidas por ligações glicosídicas β-1,4 e β-1,3. As ligações β-1,4 (aproximadamente 70%) ocorrem em grupos de 2 ou 3, e as β-1,3 ocorrem isoladas. A enzima responsável pela clivagem das ligações β-1,4 é a lichenase, liberando os oligossacarídeos (3-O-β-celobiosil-D-glicose e 3-O-β-celotriosil-D-glicose).

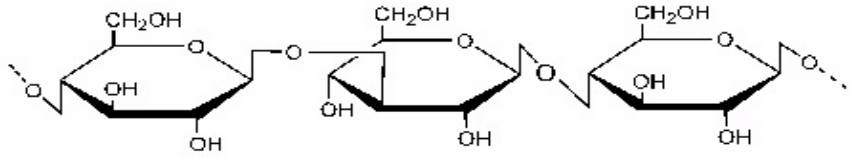

Figura 4. Estrutura química da β-glucana.

Os oligossacarídeos são componentes naturais de frutas, legumes e hortaliças. Os não assimiláveis comportam-se como fibras solúveis e ao serem fermentados no cólon, por bifidobactérias, têm capacidade bifidogênica. Atualmente

o mais utilizado comercialmente é a inulina, (Figura 5) presente em quantidade significativa na chicória e alcachofra (RUPEREZ; BRAVO, 2001).

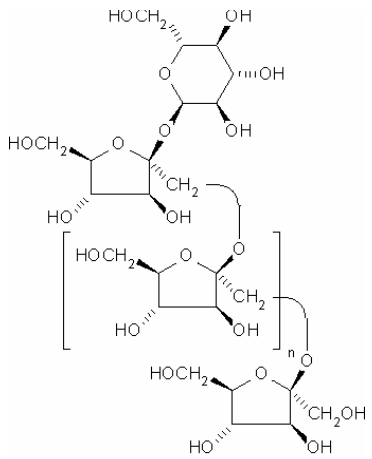

Figura 5. Estrutura química da Inulina.

2.2.4. Benefícios obtidos pela ingestão de fibra dietética

A ingestão de FD é recomendada por apresentar benefícios relacionados, principalmente, aos aspectos digestivos e de absorção de nutrientes, entre eles os mais evidentes são: diminuição do tempo de trânsito intestinal dos alimentos; diminuição da absorção intestinal da glicose; e diminuição do conteúdo de calorias ingeridas. Essas propriedades fazem das fibras um adequado regulador intestinal (BOTELHO; CONCEIÇÃO; CARVALHO, 2002).

A ingestão de fibras, também, potencia um maior volume do bolo alimentício, que provoca maior sensação de saciedade. Isto se deve a capacidade de retenção de água (CRA); importante propriedade das fibras dietéticas (CALIXTO, 1993), onde os polissacarídeos hidrofílicos se combinam com a água formando gel (CONTI, 1990).

Os efeitos fisiológicos das fibras insolúveis são diferentes dos das fibras solúveis. A parte insolúvel está relacionada com a absorção de água e a regulação intestinal, acelerando o trânsito intestinal; enquanto que a parte solúvel está associada com a diminuição do colesterol no sangue e a diminuição da absorção de glicose no intestino (GORINSTEIN; GRIGELMO-MIGUEL; MARTIN-BELLOSO, 1999).

Um efeito bastante estudado é o da redução dos níveis de colesterol e LDL (Lipoproteína de baixa densidade) séricos, pois se sabe que uma alimentação rica

em fibras solúveis é capaz de diminuir a concentração de colesterol sérico de 20% a 30% (ROBERFROID,1993). Isso se deve a capacidade das fibras de absorver substâncias orgânicas, como os sais biliares, diminuindo o *pool* de ácidos biliares no ciclo entero-hepático, interferindo no metabolismo do colesterol (CONTI, 1990).

Em países onde a alimentação é baseada em produtos de origem animal, os quais não são boas fontes de FD, observou-se uma incidência significativa de doenças cardiovasculares, câncer no cólon do intestino, diabetes e constipação diverticular (CHAMP et al., 2003). Atualmente o consumo de FD está associado ao tratamento e principalmente à prevenção dessas doenças (GORINSTEIN; GRIGELMO-MIGUEL; MARTIN-BELLOSO, 1999).

O Instituto Nacional do Câncer dos Estados Unidos recomenda uma ingestão diária de fibras da ordem de 25 a 35 g/dia ou 10 a 13 g/1000 kcal (MAHAN; ESCOTT-STUMP, 2002), pois as FD oferecem proteção contra o câncer de cólon através de mecanismos como (CONTI, 1990):

- as fibras aumentam a formação de butirato, que protege as células mucosas de transformações malignas;
- a capacidade de ligação com hormônios esteróides e ácidos biliares, modificam a circulação entero-hepática, com conseqüente excreção de elementos carcinogênicos.

No tratamento de diabéticos as FD possuem um papel de grande importância, principalmente as fibras solúveis. Pectinas e gomas, além de outras fibras solúveis, possuem um efeito hipoglicêmico, pois retardam o esvaziamento gástrico, diminuem o tempo de trânsito intestinal, aumentam a sensibilidade tissular à insulina e reduzem a absorção de glicose (CONTI, 1990; MAHAN; ESCOTT-STUMP, 2002).

A ingestão de fibras em excesso pode interferir na absorção de cálcio e zinco, especialmente nas crianças e nos idosos. O consumo adequado deve seguir a proporção fibra insolúvel: fibra solúvel de 1:2 (LARONDELLE, 2004).

2.2.5. Determinação de fibras dietéticas

Na determinação quantitativa das fibras, existem vários métodos disponíveis, merecendo destaque o método enzimático-gravimétrico, proposto por Prosky em 1988 e oficialmente adotado pela AOAC, e os métodos químicos propostos por

Englyst e Cumming em 1988 e por Theander e Westerlund em 1986 (CALIXTO; ALONSO, 2001).

Através do método AOAC, cujo esquema é apresentado na Figura 6, pode-se estimar os componentes estruturais totais das fibras (celulose, hemicelulose, lignina e pectina). É a metodologia mais utilizada, porém apresenta possíveis fontes de erro, como: os tratamentos enzimáticos são realizados em temperaturas de 60 e 100ºC, muito diferentes das temperaturas fisiológicas e durante a precipitação com etanol podem precipitar outros constituintes dos alimentos diferentes de fibras (CALIXTO; ALONSO, 2001).

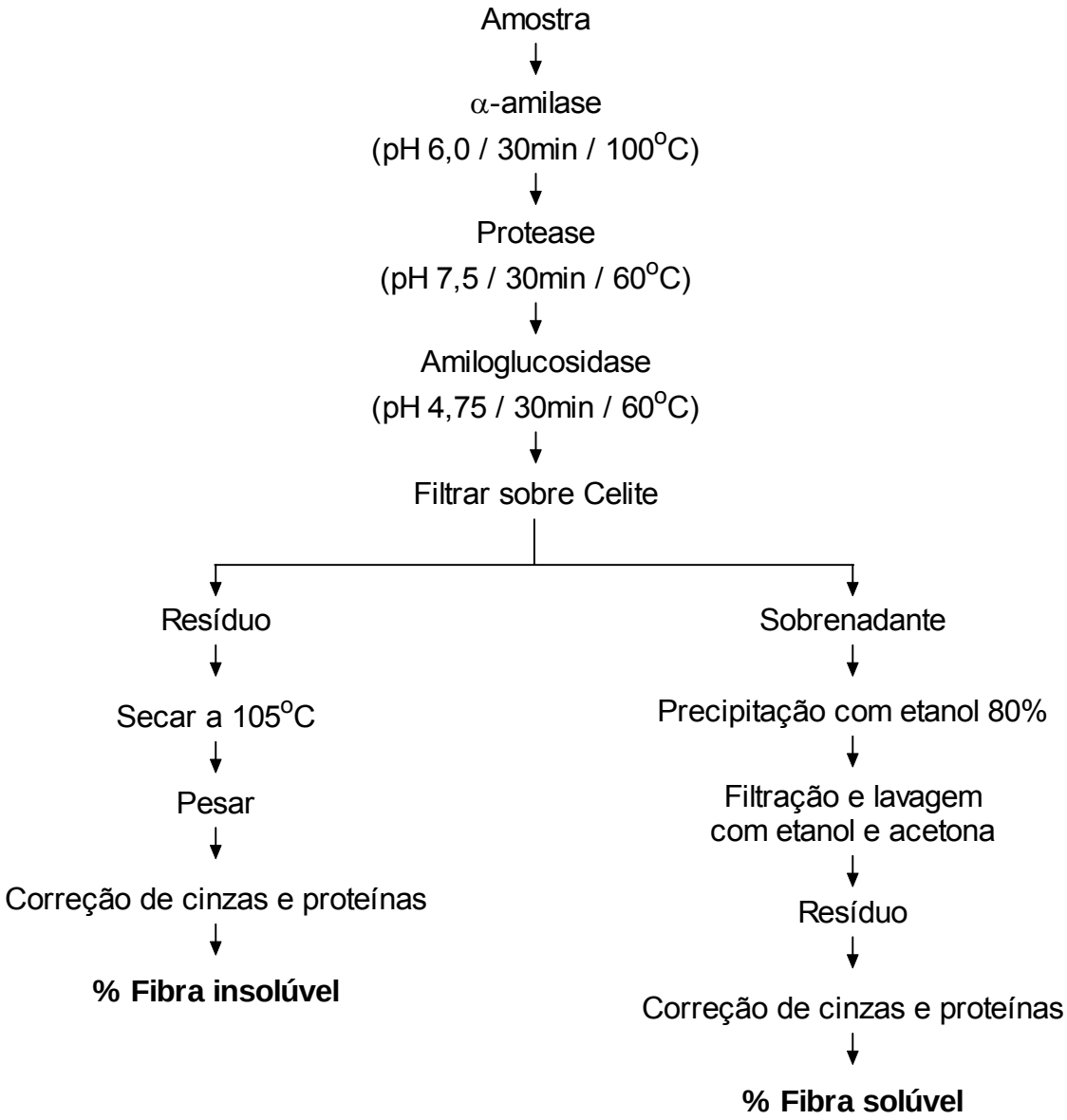

Figura 6. Esquema do método de determinação de fibras da AOAC (1997).

2.3. SECAGEM DE ALIMENTOS

Secagem é um tipo de tratamento em que se procede a redução do teor de umidade ou qualquer outro líquido de um material sólido, por uma fase gasosa insaturada (ar), em temperatura inferior a de ebulição do evaporado (FERRUA; BARCELOS, 2003).

Quando um sólido é submetido à secagem ocorre, simultaneamente, dois processos (MUJUNDAR, 1987), sendo:

a) transferência de energia (na forma de calor) do ar que envolve o sólido, para evaporar a água situada na superfície do sólido;
b) transferência da umidade interna à superfície do sólido, para subseqüente evaporação.

As principais variáveis envolvidas no processo de secagem são: pressão, temperatura, concentração de H_2O na fase gasosa (ar) e concentração de H_2O na fase sólida.

Durante a secagem pode ocorrer dois ou mais períodos distintos. Primeiramente, para materiais com umidade elevada, há um período de taxa de secagem constante, onde se retira do produto a água livre. Em seguida, observa-se um ou mais períodos de taxas de secagem decrescente, os quais são separados do período de taxa constante por um teor de umidade do sólido conhecido por umidade crítica (BARROSO; SARTORI; FREIRE, 1998).

Os principais objetivos de desidratar um produto alimentício são: o aumento da vida de prateleira, concentração de nutrientes, facilitação no transporte, entre outros. A conservação do alimento desidratado é prolongada devido à carência de água livre, com isso os microrganismos ficam impossibilitados de se desenvolver, e também porque, em condições de baixa atividade de água, as enzimas responsáveis por determinadas alterações nos alimentos, também têm suas atividades reduzidas (GAVA, 1984).

A velocidade na qual o líquido evapora de um sólido, sob um dado conjunto de condições, normalmente não pode ser prevista teoricamente. Para verificar a influência das condições externas no processo de secagem deve-se então recorrer a dados experimentais, com o material na forma apropriada e em determinadas condições de processo, obtendo inicialmente dados relacionados aos teores de umidade do sólido em diferentes tempos de secagem.

A partir dos dados experimentais podem ser construídas curvas de secagem, que são representações gráficas do conteúdo de umidade livre em função do tempo e curvas de taxas de secagem, derivadas das primeiras, que indicam a variação do fluxo de água no material, em função de sua umidade livre ou do tempo (FARIA, 1998).

2.4. CONTEÚDO DE UMIDADE E ATIVIDADE DE ÁGUA

2.4.1. Introdução

A água é o elemento mais importante e mais abundante na maioria dos alimentos; portanto conhecer e controlar o comportamento desse componente é de fundamental importância no estudo da ciência dos alimentos. O controle do conteúdo de umidade, para conservação dos alimentos, é uma técnica muito antiga, utilizada pelos povos Incas e Egípcios, através da secagem ao sol e da salga (LABUZA, 1980).

Além da secagem e da salga, outros métodos podem ser utilizados para o controle da água nos alimentos, como: a solidificação da água por congelamento, a adição de eletrólitos e não eletrólitos, tais como: NaCl ou sacarose, respectivamente (PRIOR,1969).

Segundo Rockland (1969) o crescimento microbiano, as reações de hidrólise, de oxidação e o escurecimento enzimático, não são proporcionados pelo conteúdo de umidade e sim pela atividade de água (a_w). A a_w, portanto, é um dos parâmetros de maior influência nas modificações químicas e físicas dos alimentos; representando a quantidade de água disponível para reações. Enquanto o conteúdo de umidade indica a quantidade total de água no alimento, sob qualquer forma de ligação.

A água pode apresentar três formas de ligação no alimento (ROCKLAND, 1969):

a) na monocamada a ligação da água se dá provavelmente por moléculas de água ligadas a grupos hidroxilas de carboidratos, grupos carbonila e amino de proteínas e aminoácidos;
b) nas multicamadas a água ligada é assumida como sendo constituída de moléculas de água formando ligações de hidrogênio com grupos hidroxilas;

c) a água considerada como não ligada, que é a água livre contida nos poros intersticiais, nos quais forças capilares e constituintes solúveis (açúcares, aminoácidos e sais) provocam um abaixamento da pressão de vapor.

Estudos com diferentes materiais têm sido feitos com o objetivo de determinar quantitativamente o "grau de ligação" da água. Entre os quais merecem destaque os classificados como termodinâmicos, cinéticos, espectroscópicos e estruturais. O método de maior aplicação é o BET (Brunauer-Emmett-Teller), pois permite determinar a quantidade de água correspondente à monocamada.

2.4.2. Definição de atividade de água

Segundo LABUZA (1975) o grau pelo qual a água interage com componentes e contribui para dar textura aos alimentos é determinado pelo conteúdo de umidade (g de H_2O/100g de sólidos) e pelo seu estado termodinâmico, o qual é definido pelo potencial químico na Equação 1.

$$\mu_1 = \mu_o + R \cdot T \cdot \ln a_1 \qquad (1)$$

onde: μ_1 é potencial químico do vapor de água, μ_o o potencial químico do vapor de água, em um estado padrão, R a constante universal dos gases, T a temperatura absoluta e a_1 a atividade termodinâmica da água.

O último termo da equação, a atividade, é usualmente fácil de ser conceituado e por esse motivo é comumente usado na pesquisa e processamento, na indústria de alimentos.

Teixeira Neto, Denizo e Quast (1976) fazem referencia a uma outra definição para atividade de água (a_w), como sendo uma medida da porcentagem de moléculas de água livres ou ativas, a qual pode também ser expressa como a porcentagem de moléculas de água tendendo ao escape.

Segundo Scott (1957) a atividade de água é a relação entre a pressão de vapor da água no alimento (P) e a pressão de vapor da água pura (P_o), a uma mesma temperatura. De forma quantitativa pode ser representada como sendo proporcional a umidade relativa do ar em equilíbrio com o produto (URE), como mostra a Equação 2.

$$a_w = \frac{P}{P_o} = \frac{URE(\%)}{100} \quad (2)$$

Uma particularidade da Equação 2 ocorre quando a água contida no alimento é tratada como uma solução ideal, e a pressão de vapor é expressa pela Lei de Raoult (Equação 3).

$$P = P_o.x_o \quad (3)$$

onde x_o é a fração molar da água no sistema, definida pela Equação 4.

$$x_o = \frac{n_o}{n_o + n_s} \quad (4)$$

onde: n_o é número de moléculas de água em uma determinada massa do sistema, e n_s o número de moléculas de soluto no mesmo sistema.

Combinando-se as equações obtém-se a Equação 5.

$$a_w = \frac{n_o}{n_o + n_s} \quad (5)$$

Para soluções que comportam-se como ideais (soluções muito diluídas) a a_w pode ser definida como a fração molar da água na mistura. Na prática, as soluções mais concentradas apresentam um desvio da idealidade, passando a a_w a ser definida pela Equação 6.

$$a_w = \gamma.x_o \quad (6)$$

onde γ é coeficiente de atividade (γ = 1, para uma solução ideal).

2.4.3. Determinação de atividade de água

Existem vários métodos utilizados na determinação da a_w, merecendo destaque os gravimétricos, gráficos, elétricos e químicos (TROLLER, 1983). Todos os métodos baseiam-se nas propriedades coligativas das soluções (PRIOR, 1969).

2.5. ISOTERMAS DE SORÇÃO DE UMIDADE

2.5.1. Definição

A representação gráfica da relação funcional existente entre a a_w, ou pressão parcial de vapor de água de um produto, e o seu conteúdo de umidade, é chamado de isoterma de sorção de umidade (UBOLDI EIROA, 1981).

As isotermas podem ser de adsorção, quando é feito o acompanhamento do ganho de água pelo material seco, em diferentes atmosferas de umidades relativas constantes e isotermas de dessorção, quando é acompanhada a perda de água de um material completamente umedecido colocado em diferentes atmosferas de umidades relativas constantes.

A Figura 7 mostra as isotermas de adsorção e dessorção de umidade de um material. A diferença no comportamento apresentado se deve aos diferentes mecanismos de enchimento e esvaziamento dos poros capilares e é chamado de histerese de sorção de umidade (UBOLDI EIROA, 1981).

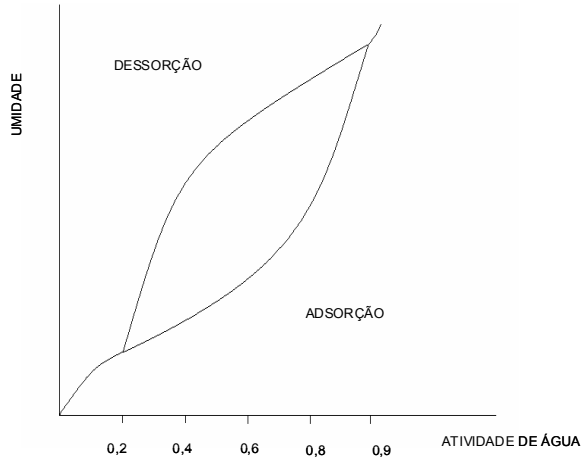

Figura 7. Representação gráfica de isotermas de sorção de umidade.

De acordo com Quast (1968) as isotermas são divididas em três regiões principais, destacadas a seguir:

a) *Região de adsorção molecular* – Lei de Brunauer-Emmett-Teller (BET). Corresponde a faixa de a_w menor que 0,3 e está relacionada com a água fortemente ligada através de ligações de hidrogênio, ligações íon-dipolo, ou qualquer outra interação forte. A água está ligada a sítios específicos como:

grupos hidroxilas de polissacarídeos, grupos carbonila e amino de proteínas e aminoácidos. A equação de BET é a que melhor estima a adsorção desses sítios específicos para a água total ligada (LABUZA, 1968).

b) *Região de condensação capilar* – Lei de Kelvin. Corresponde à faixa de a_w entre 0,2 e 0,4. É a porção de água situada em pequenos capilares dos alimentos, e com isso sofre uma redução em sua pressão de vapor. Para predizer o efeito da condensação capilar é utilizada a equação de Kelvin.

c) *Região de redução da a_w por solutos*. Em altos teores de umidade e para solutos de baixo peso molecular, estima-se o abaixamento da pressão de vapor da água pela lei de Raoult. Com os alimentos não são soluções ideais, os resultados obtidos pela lei de Raoult são freqüentemente mais altos que os valores reais.

2.5.2. Determinação de Isotermas de sorção

Existem dois métodos básicos para se obter as isotermas de sorção de alimentos.

Método de medida direta

O alimento é colocado em um ambiente fechado, com um pequeno espaço de cabeça, a uma temperatura constante até que se atinja o equilíbrio. Quando o equilíbrio é atingido determina-se a pressão de vapor de água manometricamente ou a umidade relativa de equilíbrio (TROLLER, 1983).

Método de determinação indireta

O alimento é colocado completamente seco (adsorção) ou completamente umedecido (dessorção), em vários recipientes, com diferentes umidades relativas constantes e conhecidas, até que se atinja o equilíbrio. Após atingido o equilíbrio o conteúdo de umidade da amostra é determinado gravimetricamente (TROLLER, 1983). Os ambientes com umidades relativas constantes são gerados por soluções saturadas de sais, soluções de ácido sulfúrico ou soluções de açúcar.

2.5.3. Aplicações das isotermas de sorção

Existem várias aplicações para as isotermas de sorção de umidades em alimentos. É de fundamental importância na elaboração de produtos constituídos de

materiais diferentes, na concentração e desidratação de alimentos, no projeto de equipamentos e na escolha de embalagens.

2.6. COLORIMETRIA TRISTÍMULO

A colorimetria tristímulo consiste na especificação da sensação de cor por unidades matemáticas, através da localização de um ponto em um espaço tridimensional. Entretanto, para medir a cor instrumentalmente é necessário entender os aspectos físicos, fisiológicos e psicológicos da estimulação que, em última análise, resulta na percepção da cor de um objeto. Dessa forma, a medida de cor por instrumento simula transformações físicas que acontecem no sistema visual humano.

Trata-se de um processo de decomposição de um fluxo de energia radiante de um objeto em três componentes de um dispositivo sensível, os quais correspondem às três cores primárias (vermelho, verde e azul). Esta decomposição se faz dividindo opticamente o fluxo em três partes distintas e dirigindo cada uma na direção de um fotossensor acoplado a um filtro ótico específico. A resposta espectral do fotossensor e a transmitância do filtro afetam a decomposição (SILVA, 2002).

Um colorímetro tristímulo é um instrumento simples que necessita apenas de uma fonte de luz, de três filtros que dupliquem a resposta do olho humano e de um sistema de detecção, conforme as cores primárias, os componentes da luz branca, os quais podem ser combinados para obter qualquer cor (SILVA, 2002).

A representação L^* a^* b^* é um dos espaços colorimétricos uniformes recomendados pela CIE em 1976, no objetivo de corresponder mais precisamente à visão humana, à percepção e à interpretação das diferenças de cor. Nesta representação, L indica o fator brilho (Equação 7), a (Equação 8) e b (Equação 9) são as coordenadas de cromaticidade definidas pelas equações seguintes:

$$L^* = 116 \cdot \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3} - 16 \tag{7}$$

$$a^* = 500 \cdot \left(\frac{Y}{X_n} \right)^{1/3} - \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3} \tag{8}$$

$$b^* = 200 \cdot \left(\frac{Y}{X_n} \right)^{1/3} - \left(\frac{Y}{Z_n} \right)^{1/3} \quad (9)$$

Nas equações X_n, Y_n, Z_n são os valores tristímulos do iluminante. Para o iluminante standard C (sob o observador de 2º): Y_n=100, X_n = 98,072, Z_n = 118,225. Para o iluminante D_{65} (sob o observador 2º): Y_n=100, X_n = 95,045, Z_n = 108,892, de acordo com o diagrama de cromaticidade (Figura 8).

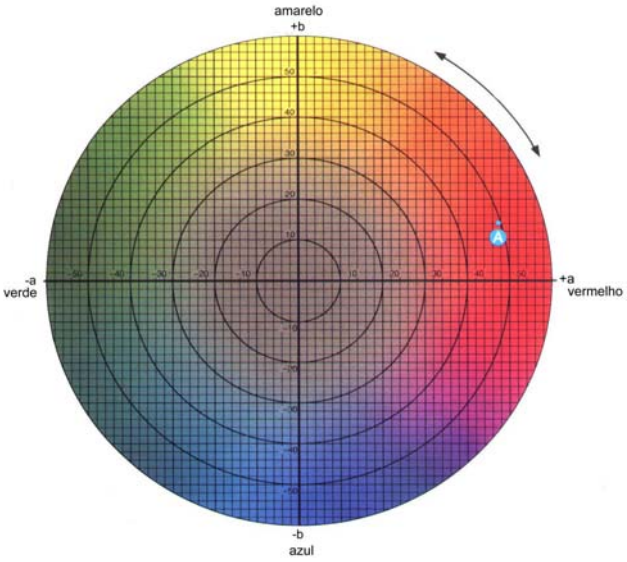

Figura 8. Diagrama de cromaticidade.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. MATÉRIA-PRIMA

A matéria prima utilizada foi o resíduo fibroso gerado na industrialização do suco de abacaxi (Figura 9), fornecido pela indústria Sucos da Amazônia Agroindustrial Ltda – SUCASA, instalada no município de Castanhal (PA). Foram feitas três coletas distintas, em dias e lotes diferentes, sendo o resíduo acondicionado em sacos de polietileno, congelado e mantido a −18°C. O descongelamento do resíduo foi feito, sob refrigeração (≈5°C), apenas antes da realização dos experimentos.

Figura 9. Resíduo fibroso do abacaxi estudado.

3.2. CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA PRIMA

As seguintes análises foram realizadas nas três frações de resíduos fibrosos brutos do abacaxi:

Umidade. A determinação de umidade foi realizada em estufa a 105ºC, até peso constante, de acordo com método 931.04 da AOAC (1997).

Sólidos solúveis (ºBrix). A determinação foi feita por refratometria, de acordo com método 932.12 da AOAC (1997). O valor lido no aparelho, correspondente a 20ºC foi corrigido para a temperatura ambiente.

Acidez. A determinação foi realizada pelo método de acidez titulável, de acordo com método 942.15 da AOAC (1997).

pH. A determinação do pH foi realizada em pHmetro digital, de acordo com método potenciométrico 945.10 da AOAC (1997).

Uma parte de cada uma das três frações do resíduo foi submetida à liofilização, por 24 horas. Estas frações liofilizadas foram utilizadas para a caracterização do resíduo, em triplicata, sendo realizadas as seguintes análises:

Proteínas. A determinação foi feita pelo método das proteínas totais (Método Kjeldahl), de acordo com método 920.152 da AOAC (1997), a qual é baseada na determinação da quantidade de nitrogênio total existente na amostra. A quantidade de proteína foi calculada partindo do princípio que a proteína possui, em média, 16% de nitrogênio.

Lipídios. A determinação foi realizada por extração com solventes (éter de petróleo), em extrator Soxhlet, de acordo com método 963.15 da AOAC (1997).

Cinzas. A determinação de cinzas foi realizada por incineração da amostra em forno mufla a 525ºC, de acordo com método 940.26 da AOAC (2002).

Açúcares redutores (em glicose). O método de determinação de açúcares redutores em glicose foi proposto por Miller em 1959, onde se utiliza uma solução contendo ácido 3,5 dinitrosalicílico (DNS), NaOH 2N e tartarato de sódio e potássio. A amostra diluída é adicionada à solução de DNS, sendo em seguida medida a absorbância a 580nm. Os resultados obtidos são comparados com uma curva de glicose, obtida nas mesmas condições das análises (MILLER, 1959).

Açúcares totais (em glicose). A determinação foi feita utilizando a mesma metodologia de determinação de açúcares redutores, tendo sido feita apenas uma hidrólise dos açúcares não redutores, pela adição de HCl (MILLER, 1959).

Açúcares não-redutores (em sacarose). Foi determinado pela diferença entre os valores de açúcares totais e açúcares redutores. Para efeitos de expressar os resultados em sacarose, o valor das diferenças foi multiplicado por 0,95 (MILLER, 1959).

Fibras dietéticas. Na quantificação das fibras dietéticas totais e insolúveis foi utilizado o método 985.29 enzimático-gravimétrico, oficialmente adotado pela AOAC (2002). A determinação das fibras dietéticas totais baseia-se no princípio de que amido e proteínas são removidos da amostra enzimaticamente e o resíduo resultante, o qual é insolúvel em etanol à 95%, é determinado gravimetricamente. Na quantificação da fração insolúvel não é realizada esta última etapa. Correções foram aplicadas pela dedução das frações de proteínas residuais e componentes

inorgânicos (cinzas). O teor de fibras solúveis foi determinado por diferença entre as frações de fibras totais e fibras insolúveis (Anexo 4).

3.3. CARACTERIZAÇÃO DAS FIBRAS DIETÉTICAS

Para que se pudesse identificar e quantificar os componentes das fibras dietéticas totais do resíduo, foram tomando com base as metodologias apresentadas a seguir:

Celulose. O método utilizado baseia-se na dissolução de todos os componentes da amostra, com exceção da celulose e dos minerais, por meio de um reagente ácido específico (Anexo 2) (SILVA; QUEIROZ, 2002).

Pectina. A quantificação da pectina foi realizada pelo método de determinação fotométrico (Anexo 3), no qual se mede fotometricamente, a 525nm, um produto de condensação da pectina com metanol e outros reagentes químicos (MATISSEK, SCHNEPEL, STEINER, 1998).

Beta-(1-3)-D-glucano. Este tipo de composto foi quantificado de acordo com o método 995.16 da AOAC, proposto por McCleary e Glennie-Holmes (1985), no qual são utilizadas as enzimas lichenase e β-glucosidase (Anexo 1).

3.4. SECAGEM DO RESÍDUO

3.4.1. Obtenção dos dados de secagem

O resíduo congelado foi submetido a descongelamento em ambiente com temperatura de aproximadamente 5°C. Após descongelamento o resíduo foi homogeneizado e prensado manualmente, com auxílio de um tecido fino. Isto foi feito para reduzir a umidade inicial do material (eliminação de 38% da fração líquida do produto), pois testes preliminares demonstraram que a secagem do material pós-prensagem favorecia a obtenção de um produto de melhor qualidade e menos pastoso que o resíduo não prensado, além de favorecer a formação e manutenção do leito.

Para garantir uniformidade o resíduo, após prensagem, foi homogeneizado; sendo em seguida distribuído em diversos recipientes de polietileno, contendo aproximadamente 100 g.

Os ensaios de secagem foram realizados em secador de leito fixo, cujo esquema é apresentado na Figura 10, com precisão de ±1°C na temperatura do ar em contato com a superfície do produto.

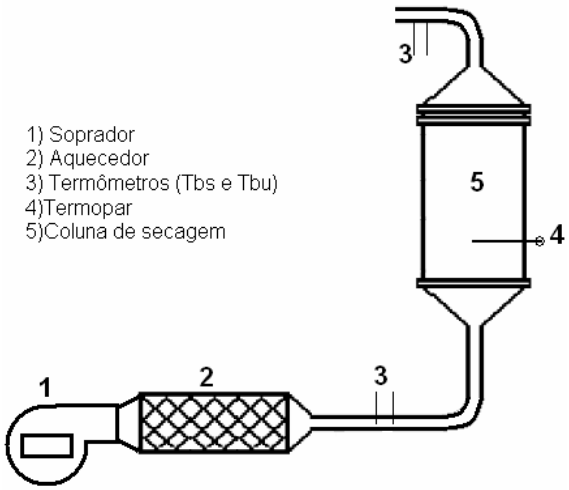

Figura 10. Visão esquemática do secador de leito fixo utilizado.

Os ensaios de secagem foram realizados nas temperaturas (T) de 50°C, 60°C e 70°C, com velocidades do ar de secagem (V_{ar}) de 2,0 m/s, 2,5 m/s e 3,0 m/s. O planejamento experimental apresentado no na Tabela 1 foi utilizado nos ensaios de secagem.

Tabela 1. Planejamento de experimentos utilizado na secagem do resíduo.

Corrida	T (°C)	V_{ar} (m/s)
1	50	3,0
2 (ponto central)	60	2,5
3	70	2,0
4	70	3,0
5	50	2,5
6	50	2,0
7	60	2,0
8	60	3,0
9	70	2,5
10 (ponto central)	60	2,5
11 (ponto central)	60	2,5

Uma massa do resíduo descongelado, com aproximadamente 100g, foi pesada em bandeja perfurada, quadrada, com área de 378 cm^2. O material foi espalhado da maneira mais homogênea possível sobre a superfície da bandeja, de tal forma que fosse formada uma camada delgada, na referida superfície, permitindo

secagem uniformemente. Antes de o conjunto ser levado ao secador foi determinada sua temperatura, para assegurar temperaturas aproximadamente iguais no início do processo de secagem.

O acompanhamento do processo de secagem foi realizado da seguinte maneira: nos primeiros 10 minutos, foram realizadas medições (pesagens) de 2 em 2 minutos, de 10 a 30 minutos as medições foram feitas de 5 em 5 minutos, de 30 a 60 minutos as medições foram feitas de 10 em 10 minutos e a partir de 60 minutos as medições passaram a ser feitas de 20 em 20 minutos, até que não houvesse mais variação significativa na massa da amostra (peso constante). Não havendo mais variação na massa da amostra, uma parte desta foi retirada para determinação do peso seco em estufa de secagem a 105°C. Foi também realizada a determinação da umidade das amostras antes da secagem, para efeitos de comparação com o valor final.

As variáveis de resposta avaliadas foram: umidade final do produto seco (X_e, umidade de equilíbrio), tempo de secagem (t), taxa de secagem a velocidade constante (W_{CT}) e coloração do produto (ΔE).

3.4.2. Estudo da cinética de secagem

Para avaliar a cinética dos processos de secagem foram construídas curvas de taxa de secagem, no decorrer do processo de secagem. A área utilizada para calcular a taxa de secagem foi obtida em função do tamanho da bandeja utilizada, a qual foi de 378 cm^2.

Para avaliar a cinética de secagem da fibra residual do abacaxi foram construídas curvas de taxa de secagem (taxa de secagem *versus* umidade e taxa de secagem *versus* tempo) utilizando a Equação 10. Os valores de (dX_{bs}/dt) foram obtidos a partir das derivadas das equações da reta (Equação 11) e de Midilli et al. (Equação 12), substituindo MR (umidade reduzida) pela relação da Equação 13, para permitir o cálculo da derivada de X_{bs} em função do tempo. As equações foram ajustadas os dados experimentais de secagem (X_{bs} *versus* t), de acordo com o comportamento da relação, linear ou não; com o auxílio do aplicativo STATISTICA para Windows 5.5.

$$W_T = \frac{m_s}{A}.\left[-\frac{dX_{bs}}{dt}\right] \quad (10)$$

$$X_{bs} = a' + b' \cdot t \tag{11}$$

$$MR = b \cdot t + a \cdot e^{-k \cdot t^n} \tag{12}$$

$$MR = \frac{X_{bs} - X_e}{X_o - X_e} \tag{13}$$

onde: X_{bs} é umidade (g/100 g b.s); t tempo (min); W_T taxa de secagem (g/cm^2.h); m_s peso seco, X_o umidade inicial (g/100 g b.s); X_e umidade de equilíbrio (g/100 g b.s), A área da superfície exposta a secagem e a', b', b, a, k e n constantes.

3.5. DETERMINAÇÃO DA COR

A cor do resíduo liofilizado (branco) e dos produtos, após submetidos as diferentes condições de secagem foi determinada por colorimetria tristímulo.

O colorímetro emite um feixe de luz sobre a amostra, o qual se decompõe em três partes distintas: L, a e b, que se dirigem cada uma, a um fotossensor acoplado a um filtro ótico específico. O resultado expressa a variação de coloração (ΔE), dado pela Equação 14 (SILVA, 2002).

$$\Delta E = \left(a^2 + b^2 + L^2\right)^{1/2} \tag{14}$$

3.6. AVALIAÇÃO HIGROSCÓPICA DO RESÍDUO SECO

Com base no estudo da higroscopicidade de um produto seco é possível respaldar as condições utilizadas no processo de secagem, bem como pode-se prever as melhores condições de armazenamento para o produto. Com base nisso foram construídas isotermas de adsorção e dessorção de umidade para o produto seco, nas temperaturas de 10ºC e 25ºC.

3.6.1. Obtenção dos dados de equilíbrio

Na obtenção dos dados de adsorção as amostras do resíduo, devidamente pesadas em recipientes próprios do aparelho de atividade de água, foram submetidas à secagem complementar em dessecador com sílica gel, sob vácuo, à temperatura ambiente (≈25ºC), por um período de 24 horas. Após este período as

amostras foram colocadas em dessecador contendo água na base, o qual foi mantido em ambiente apropriado, na temperatura de trabalho. Em tempos crescentes as amostras foram pesadas, em duplicata, para a determinação da umidade, por diferença de massa, e submetidas à determinação da a_w, com auxílio de um higrômetro AQUAlab 3TE da Decagon (GUERRA; NEVES; PENA, 2005).

Na obtenção dos dados de dessorção as mesmas amostras do resíduo, após submetidas ao processo de adsorção, foram transferidas para um dessecador contendo água, na condição de temperatura de trabalho, por 24 horas, para ocorrer a umidificação completa da amostra. Após esse período as mesmas foram transferidas para um dessecador contendo sílica gel na base, o qual foi mantido em ambiente apropriado, na temperatura de trabalho. Foram efetuadas retiradas das amostras, em duplicata, em tempos crescentes para determinação da umidade e atividade de água, da mesma forma como na obtenção dos dados de adsorção.

As amostras contidas no dessecador foram mantidas sob vácuo, em estufa incubadora para DBO, para que as variações de temperatura não ultrapassem ±1ºC. Durante os ensaios de adsorção e dessorção as amostras foram submetidas à inspeção visual para acompanhar quaisquer alterações visualmente perceptíveis, que eventualmente ocorressem, tais com: “caking”, escurecimento e crescimento de fungos.

3.6.2. Isotermas de adsorção e dessorção

As isotermas de adsorção e dessorção foram construídas a partir dos dados de umidade e atividade de água, obtidos nos ensaios de adsorção e dessorção, nas duas condições de temperatura.

3.6.3. Determinação da monocamada

A monocamada (m_o) foi determinada pela linearização do modelo de BET (Equação 15), com o auxílio do aplicativo STATISTICA for Windows 5.5.

$$\frac{a_w}{(1-a_w)\cdot m} = \frac{1}{m_o \cdot C} + \frac{(C-1)}{m_o \cdot C}\cdot a_w \qquad (15)$$

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

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO RESÍDUO

O resíduo utilizado é um material que apresenta um elevado teor de fibras e açúcares, como pode ser observado na Tabela 2. As fibras predominantes são as insolúveis, representando mais de 93% do total de fibras dietéticas presentes no resíduo. Este fator limita, de certa forma, a aplicabilidade do resíduo em dietas que necessitam de fibras, por não apresentar uma boa relação fibras insolúveis/fibras solúveis. A relação recomendada é de 1:2 (LARONDELLE, 2004).

Tabela 2. Composição média do resíduo do abacaxi.

Determinações	Amostra 1		Amostra 2		Amostra 3		Média (%b.u)	Média (%b.s)
	%b.u	%b.s	%b.u	%b.s	%b.u	%b.s		
Umidade	83,48	–	84,37	–	82,25	–	83,37±1,06	–
Cinzas	0,20	1,20	0,19	1,22	0,22	1,24	0,20±0,02	1,22±0,02
Proteínas	0,55	3,34	0,42	2,69	0,68	3,83	0,55±0,13	3,29±0,57
Lipídeos	0,02	0,14	0,03	0,19	0,04	0,23	0,03±0,01	0,19±0,04
Fibras insolúveis	5,09	30,83	4,47	28,60	5,76	32,45	5,11±0,65	30,63±1,93
Fibras solúveis	0,35	2,12	0,32	2,05	0,41	2,31	0,36±0,05	2,16±0,14
Açúcares redutores	6,25	37,83	5,90	37,75	6,11	34,42	6,09±0,18	36,67±1,94
Açúcares não-redutores	4,05	24,54	4,30	27,51	4,53	25,52	4,29±0,24	25,86±1,51

Merece destaque no resíduo, também, os teores de proteínas, por ser uma característica marcante de cascas e não de polpas, e de açúcares redutores, que representam mais de 60% dos sólidos solúveis. A presença destes componentes pode ter como conseqüência um escurecimento não enzimático (reação de Maillard). O teor de cinzas indica que o resíduo apresenta um teor considerável de minerais.

Os maiores desvios relativos entre as amostras foram nas determinações de proteínas. Estes desvios são justificados pelo fato da amostra 3 ser constituída por uma maior fração de casca, quando comparada com as amostras 1 e 2, proporcionando um maior percentual de proteínas e fibras e menores teores de açúcares.

O resultado da caracterização das fibras dietéticas totais é apresentado na Tabela 3. Entre as fibras analisadas a celulose foi a mais abundante, representando aproximadamente 38% das fibras totais do resíduo. A pectina representou

aproximadamente 88% das fibras solúveis, mais somente 5,8% das fibras totais. Os 12% restantes das fibras solúveis são β-glucanas, as quais representam apenas 0,29% da base seca do resíduo.

Tabela 3. Composição em constituintes das fibras no resíduo do abacaxi.

Determinações	Amostra 1		Amostra 2		Amostra 3		Média (%b.u)	Média (%b.s)
	%b.u	%b.s	%b.u	%b.s	%b.u	%b.s		
Celulose	1,99	12,32	1,86	11,89	2,39	13,47	2,08±0,28	12,56±0,82
Pectina	0,32	1,92	0,29	1,83	0,35	1,97	0,32±0,03	1,91±0,07
β-glucanas	0,05	0,29	0,04	0,23	0,06	0,35	0,05±0,01	0,29±0,06

4.2. SECAGEM DO RESÍDUO DO ABACAXI

4.2.1. Curvas de secagem

Foram obtidos dados experimentais de secagem para o resíduo gerado na industrialização do suco de abacaxi, os quais permitiram a construção de curvas de secagem e de taxa de secagem.

Na Tabela 4 são apresentados os dados de secagem (umidade de equilíbrio *versus* tempo) para as diferentes condições de temperatura e velocidade do ar de secagem estudadas, os quais são apresentados na forma de curvas de secagem nas Figuras 11 a 16.

Analisando as curvas de secagem observa-se que em todas as condições de temperatura e velocidade do ar de secagem estudadas, ocorreu uma região linear nos primeiros minutos de secagem, passando em seguida a um comportamento logarítmico.

Considerando o elevado teor de sólidos solúveis do resíduo (> 10% de açúcares redutores + açúcares não-redutores), merece destaque o fato se ter atingido a umidade de equilíbrio em tempos relativamente curtos, quando comparados aos tempos demandados para a secagem das fibras residuais do maracujá, estudadas por Mendonça (2005), no mesmo sistema de secagem utilizado, os quais foram praticamente 50% superiores.

Apesar da considerável diferença entre os tempos de secagem dos dois resíduos, a umidade final (de equilíbrio) dos mesmos foi praticamente a mesma, em média 12% (em base seca).

Tabela 4. Dados de secagem do resíduo do abacaxi nas diferentes condições.

t (min)	Var = 2,0 m/s			Var = 2,5 m/s			Var = 3,0 m/s		
	50°C	60°C	70°C	50°C	60°C	70°C	50°C	60°C	70°C
	X_{bs} (%)	X_{bs} (%)	X_{bs} (%)	X_{bs} (%)	X_{bs} (%)	X_{bs} (%)	X_{bs} (%)	X_{bs} (%)	X_{bs} (%)
0	4,299	4,299	4,299	4,299	4,299	4,299	4,299	4,299	4,299
2	4,214	4,184	4,162	4,200	4,145	4,114	4,184	4,156	4,126
4	4,124	4,057	4,003	4,096	3,986	3,913	4,060	3,994	3,909
6	4,028	3,933	3,844	3,992	3,823	3,714	3,921	3,838	3,686
8	3,937	3,807	3,674	3,889	3,665	3,519	3,801	3,675	3,475
10	3,842	3,675	3,519	3,785	3,513	3,332	3,683	3,521	3,273
15	3,619	3,384	3,142	3,542	3,151	2,898	3,402	3,156	2,812
20	3,398	3,093	2,788	3,302	2,812	2,503	3,132	2,809	2,391
25	3,182	2,817	2,452	3,067	2,496	2,146	2,877	2,486	2,024
30	2,973	2,550	2,141	2,842	2,213	1,834	2,630	2,179	1,697
40	2,579	2,063	1,608	2,421	1,724	1,311	2,175	1,643	1,172
50	2,219	1,639	1,177	2,035	1,335	0,916	1,780	1,215	0,790
60	1,890	1,283	0,840	1,691	1,004	0,633	1,442	0,887	0,541
80	1,352	0,731	0,424	1,159	0,578	0,305	0,939	0,452	0,269
100	0,949	0,409	0,211	0,718	0,336	0,177	0,598	0,245	0,167
120	0,667	0,241	0,137	0,478	0,213	0,131	0,400	0,165	0,130
140	0,454	0,166	0,102	0,325	0,153	0,114	0,285	0,130	0,118
160	0,283	0,129	0,094	0,231	0,137	0,107	0,221	0,114	0,115
180	0,240	0,112	0,087	0,182	0,113	0,104	0,187	0,110	0,111
200	0,192	0,106	0,084	0,155	0,106	0,104	0,168	0,103	0,110
220	0,164	0,102	0,084	0,139	0,104		0,160	0,102	
240	0,145	0,098		0,130			0,157		
260	0,139	0,098		0,125			0,153		
280	0,132			0,121			0,150		
300	0,131			0,121			0,148		
320							0,147		

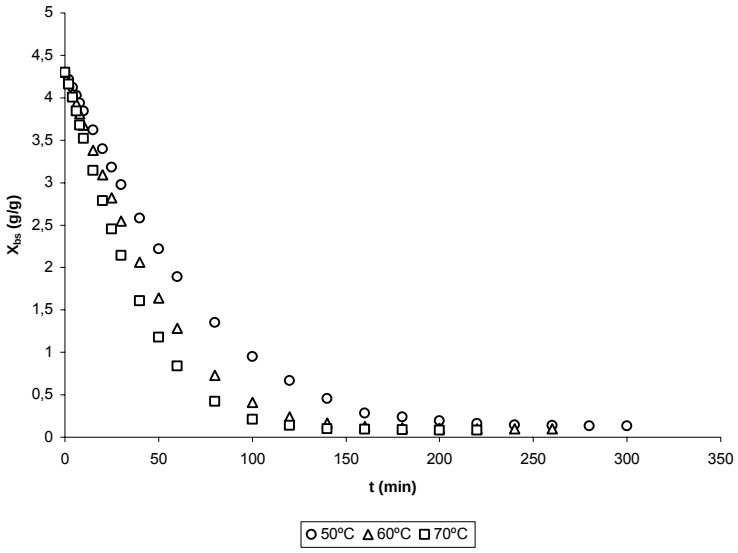

Figura 11. Curvas de secagem do resíduo para velocidade do ar de 2,0 m/s.

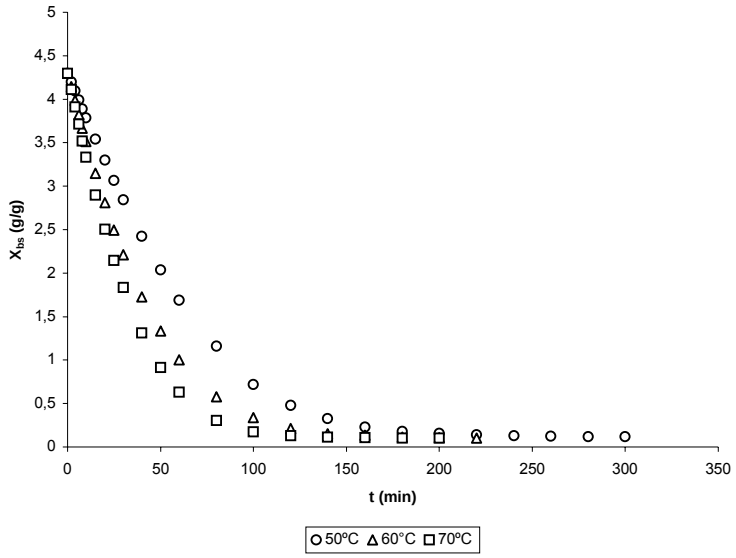

Figura 12. Curvas de secagem do resíduo para velocidade do ar de 2,5 m/s.

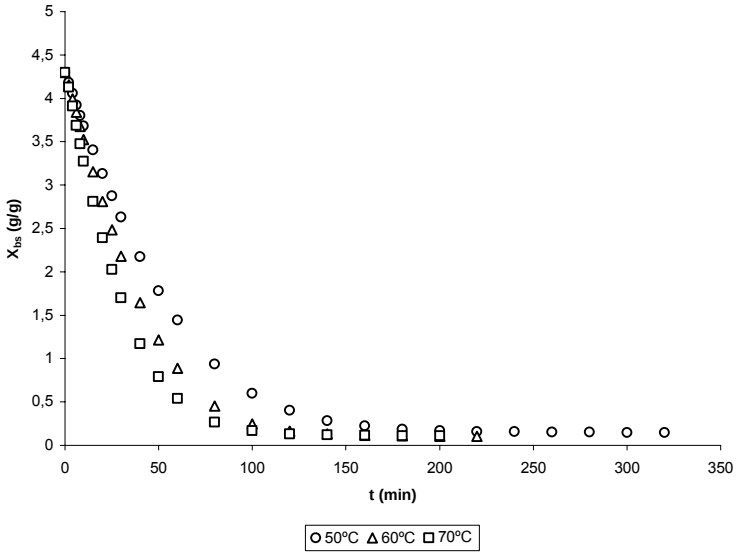

Figura 13. Curvas de secagem do resíduo para velocidade do ar de 3,0 m/s.

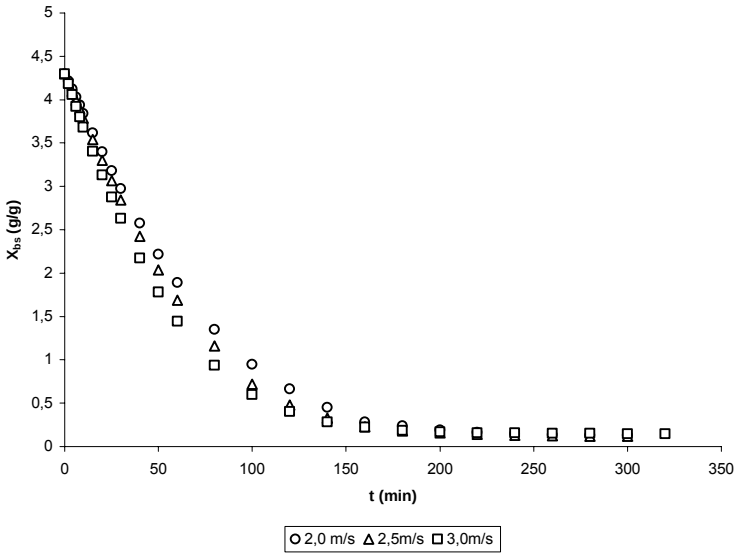

Figura 14. Curvas de secagem do resíduo na temperatura de 50°C.

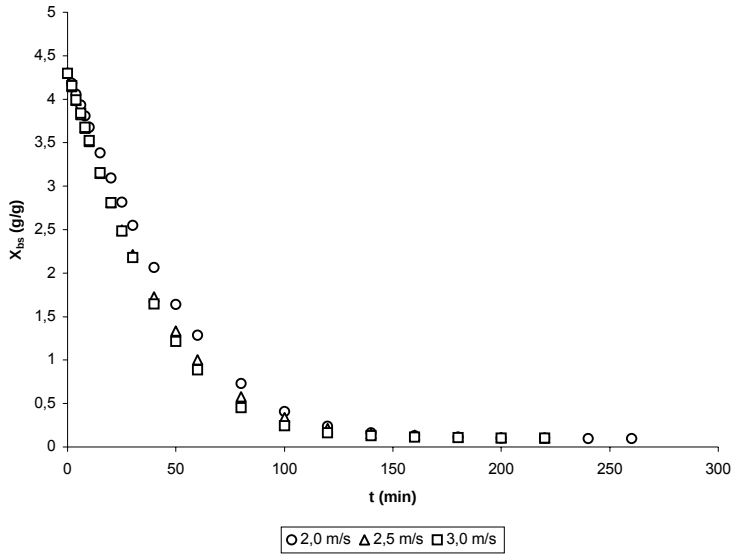

Figura 15 Curvas de secagem do resíduo na temperatura de 60°C.

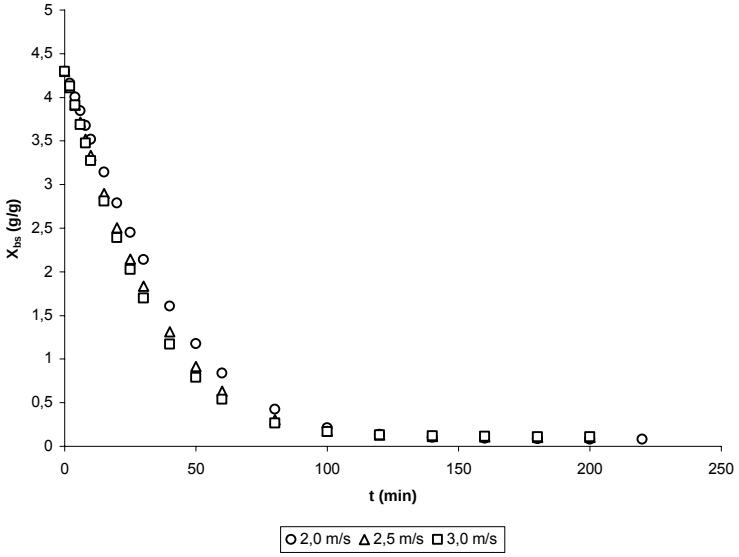

Figura 16. Curvas de secagem do resíduo na temperatura de 70°C.

4.2.2. Cinética do processo de secagem

Para construir as curvas de taxa de secagem em função do tempo e da umidade, os dados obtidos nas diferentes condições de secagem, foram submetidos a ajustes matemáticos, para se obter equações, as quais depois de derivadas gerassem as velocidades de secagem (dX_{bs}/dt), nos diferentes tempos.

Os parâmetros obtidos através dos ajustes são apresentados na Tabela 5, onde a partir dos coeficientes de determinação (r^2) pode-se constatar os bons ajustes, de acordo com tabelas estatísticas. As taxas de secagem (W_T), em função do tempo (t), são apresentadas na Tabela 6; as curvas de taxa de secagem, em

função do tempo, nas Figuras 17 a 22 e em função da umidade de equilíbrio, nas Figuras 23 a 28.

Tabela 5. Parâmetros dos ajustes dos modelos linear e de Midilli et al.

Parâmetro	V_{ar} = 2,0 m/s			V_{ar} = 2,5 m/s			V_{ar} = 3,0 m/s		
	50°C	**60°C**	**70°C**	**50°C**	**60°C**	**70°C**	**50°C**	**60°C**	**70°C**
a'	4,30	4,30	4,31	4,30	4,30	4,30	4,30	4,31	4,32
b'	-0,0457	-0,0625	-0,0789	-0,0516	-0,0791	-0,0975	-0,0624	-0,0784	-0,1044
r^2	**0,9999**	**0,9997**	**0,9992**	**1,0000**	**0,9998**	**0,9999**	**0,9994**	**0,9998**	**0,9990**
a	0,9884	0,9847	0,9884	0,9848	0,9921	0,9912	0,9870	0,9878	0,9952
b	$-3x10^{-5}$	$-2\ x10^{-5}$	$-5\ x10^{-5}$	$-2\ x10^{-5}$	$-2\ x10^{-5}$	$-2\ x10^{-5}$	$-1\ x10^{-5}$	$-2\ x10^{-5}$	$-1\ x10^{-5}$
k	0,0058	0,0073	0,0106	0,0060	0,0138	0,0166	0,0088	0,0109	0,0180
n	1,22	1,26	1,24	1,24	1,15	1,18	1,19	1,23	1,18
r^2	**0,9998**	**0,9997**	**0,9998**	**0,9997**	**0,9998**	**0,9998**	**0,9998**	**0,9998**	**0,9999**

Tabela 6. Taxas de secagem do resíduo do abacaxi nas diferentes condições.

t (min)	V_{ar} = 2,0 m/s			V_{ar} = 2,5 m/s			V_{ar} = 3,0 m/s		
	50°C	**60°C**	**70°C**	**50°C**	**60°C**	**70°C**	**50°C**	**60°C**	**70°C**
	W_T g/cm².h	**W_T g/cm².h**	**W_T g/cm².h**	**W_T g/cm².h**	**W_T g/cm².h**	**W_T g/cm².h**	**W_T g/cm².h**	**W_T g/cm².h**	**W_T g/cm².h**
0	0,134	0,185	0,232	0,153	0,235	0,290	0,186	0,230	0,308
2	0,134	0,185	0,232	0,153	0,235	0,290	0,186	0,230	0,308
4	0,134	0,185	0,232	0,153	0,235	0,290	0,186	0,230	0,308
6	0,134	0,185	0,232	0,153	0,235	0,290	0,186	0,230	0,308
8	0,134	0,185	0,232	0,153	0,235	0,290	0,186	0,230	0,308
10	0,134	0,185	0,232	0,153	0,235	0,290	0,186	0,230	0,308
15	0,134	0,183	0,226	0,149	0,214	0,256	0,173	0,221	0,269
20	0,133	0,178	0,212	0,148	0,198	0,230	0,166	0,207	0,237
25	0,130	0,170	0,194	0,143	0,180	0,202	0,156	0,190	0,206
30	0,125	0,160	0,175	0,138	0,163	0,176	0,146	0,172	0,176
40	0,114	0,137	0,139	0,123	0,130	0,131	0,126	0,137	0,127
50	0,102	0,113	0,106	0,108	0,102	0,094	0,106	0,106	0,088
60	0,090	0,092	0,080	0,093	0,079	0,067	0,088	0,080	0,060
80	0,067	0,058	0,042	0,066	0,046	0,032	0,059	0,043	0,027
100	0,049	0,034	0,021	0,045	0,026	0,014	0,038	0,022	0,011
120	0,034	0,020	0,010	0,030	0,014	0,006	0,024	0,010	0,003
140	0,024	0,011	0,004	0,019	0,007	0,002	0,015	0,004	0,000
160	0,016	0,005	0,001	0,012	0,003	0,000	0,009	0,001	0,000
180	0,010	0,002	0,000	0,007	0,001	0,000	0,005	0,000	0,000
200	0,007	0,001	0,000	0,004	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000
220	0,004	0,000	0,000	0,002	0,000		0,001	0,000	
240	0,002	0,000		0,001			0,000		
260	0,001	0,000		0,000			0,000		
280	0,000			0,000			0,000		
300	0,000			0,000			0,000		
320							0,000		

Através dos dados de secagem pôde-se determinar que o resíduo perdeu, em média, 14,0%, 16,7% e 21,5% de sua umidade total, a uma taxa de secagem constante (período de velocidade constante), demandando para isso 3,8%, 4,2% e 4,8%, em média, do tempo total de secagem, nas secagens realizadas a 50°C, 60°C e 70°C, respectivamente. Após esse período a secagem ocorreu em taxas decrescentes, até atingir o equilíbrio, sendo o período predominante.

A secagem a taxa constante ocorreu predominantemente nos 10 primeiros minutos; tempo relativamente curto, quando se leva em consideração o elevado teor de umidade do resíduo, após prensagem (81,13%).

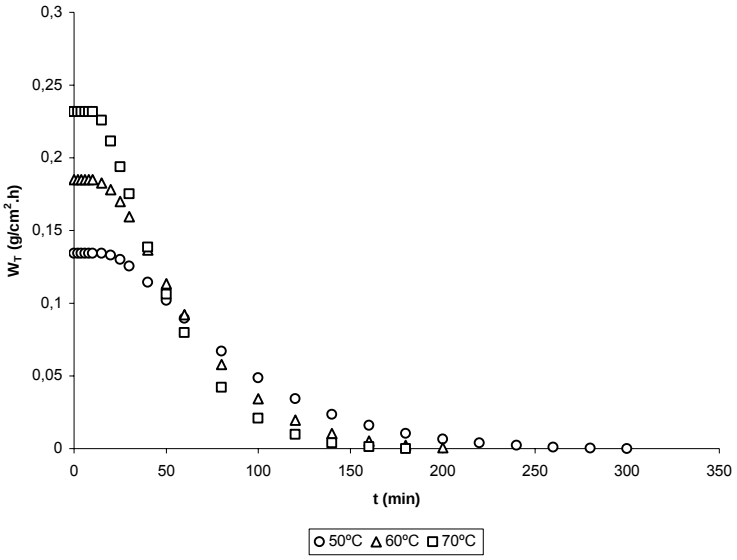

Figura 17. Cinética de secagem do resíduo com V_{ar} de 2,0 m/s (W_T x t).

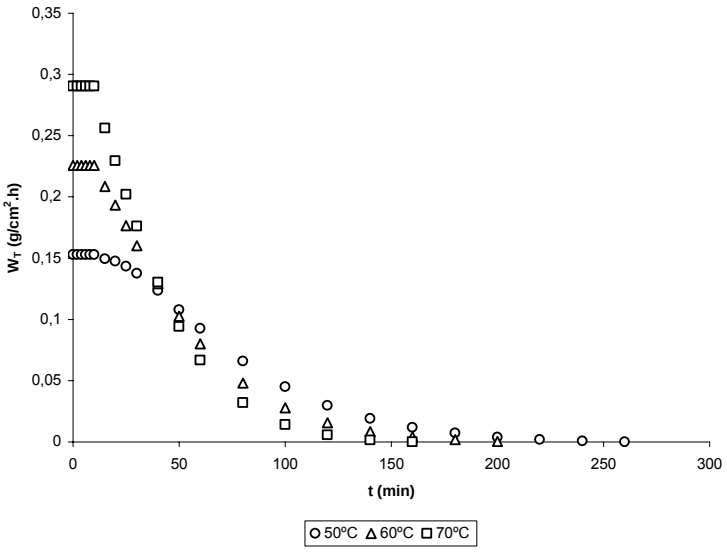

Figura 18. Cinética de secagem do resíduo com V_{ar} de 2,5 m/s (W_T x t).

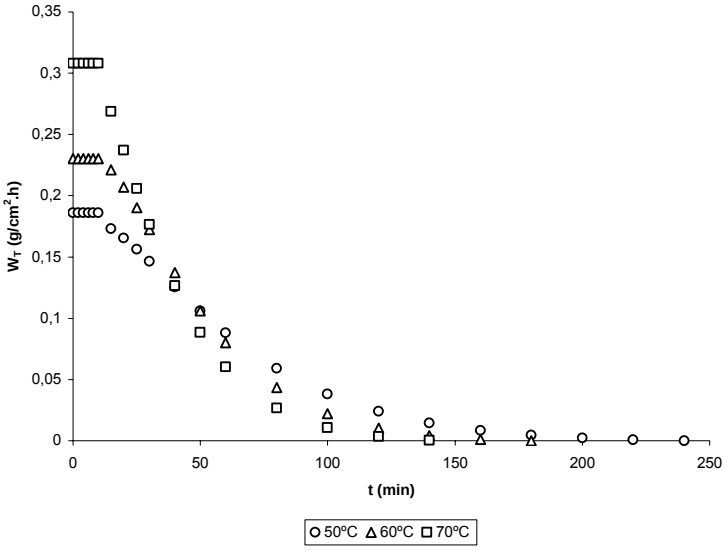

Figura 19. Cinética de secagem do resíduo com V_{ar} de 3,0 m/s (W_T x t).

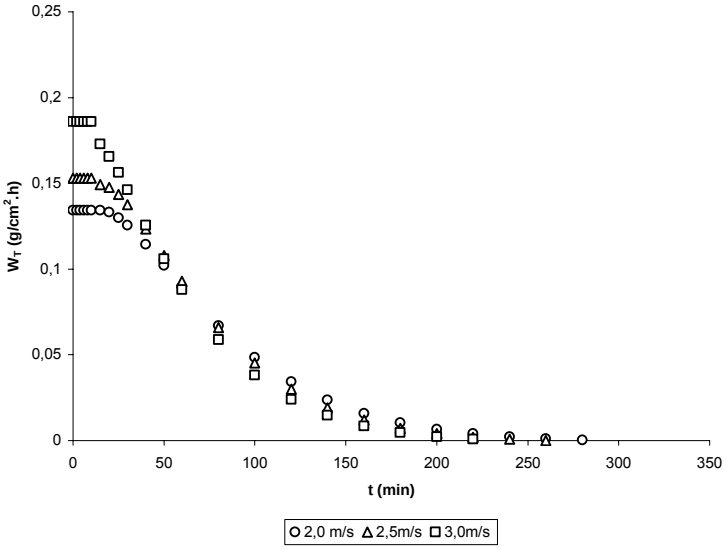

Figura 20. Cinética de secagem do resíduo a 50°C (W_T x t).

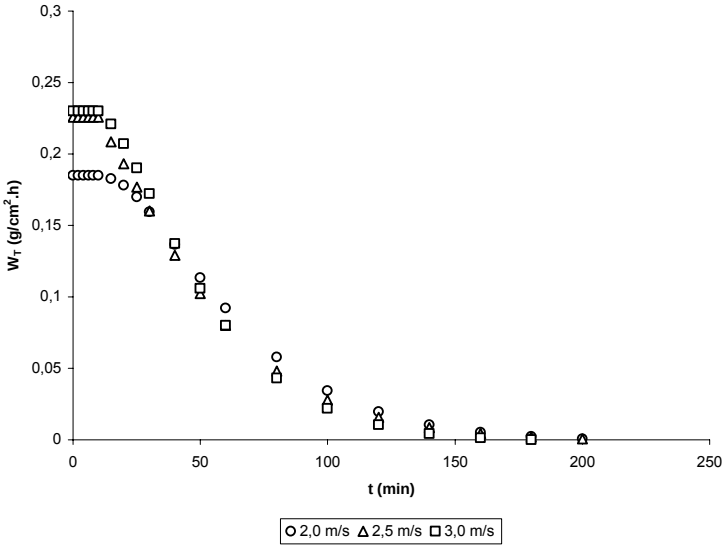

Figura 21. Cinética de secagem do resíduo a 60°C (W_T x t).

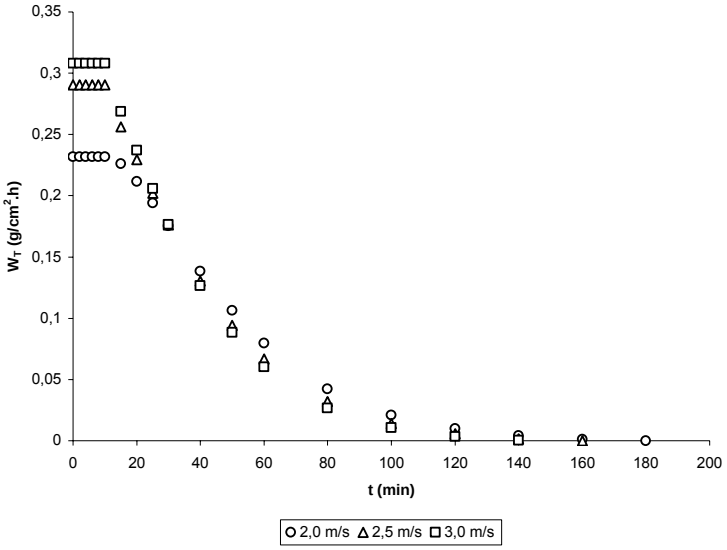

Figura 22. Cinética de secagem do resíduo a 70°C (W_T x t).

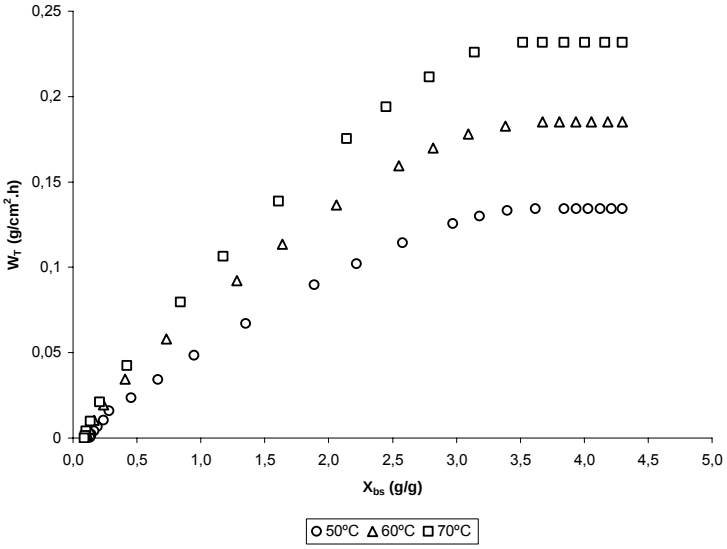

Figura 23. Cinética de secagem do resíduo com V_{ar} de 2,0 m/s (W_T x X_{bs}).

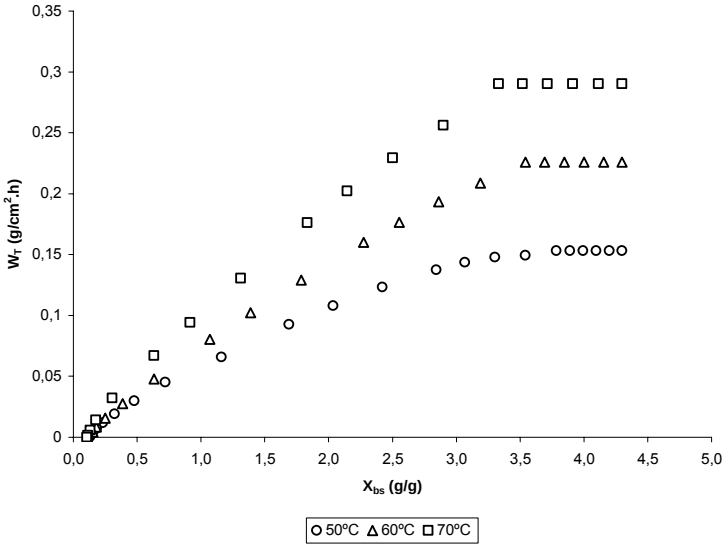

Figura 24. Cinética de secagem do resíduo com V_{ar} de 2,5 m/s (W_T x X_{bs}).

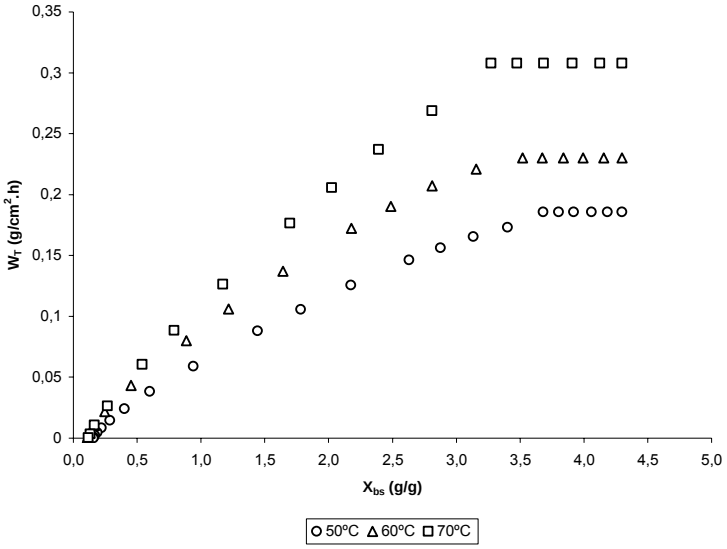

Figura 25. Cinética de secagem do resíduo com V_{ar} de 3,0 m/s (W_T x X_{bs}).

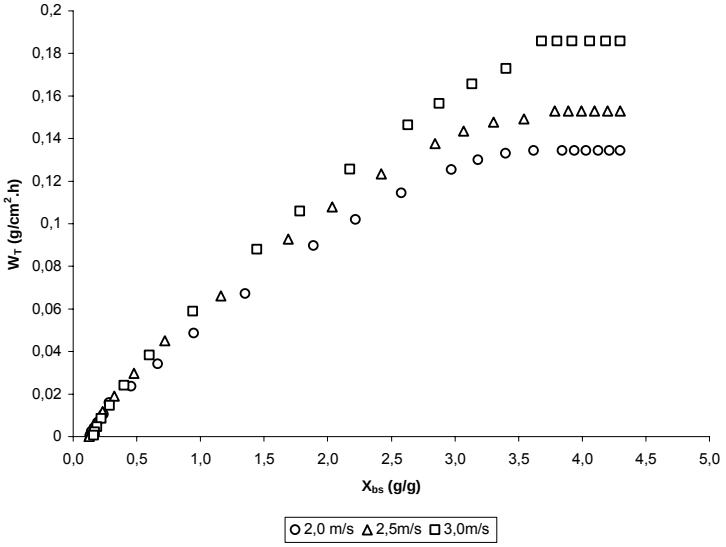

Figura 26. Cinética de secagem do resíduo a 50°C (W_T x X_{bs}).

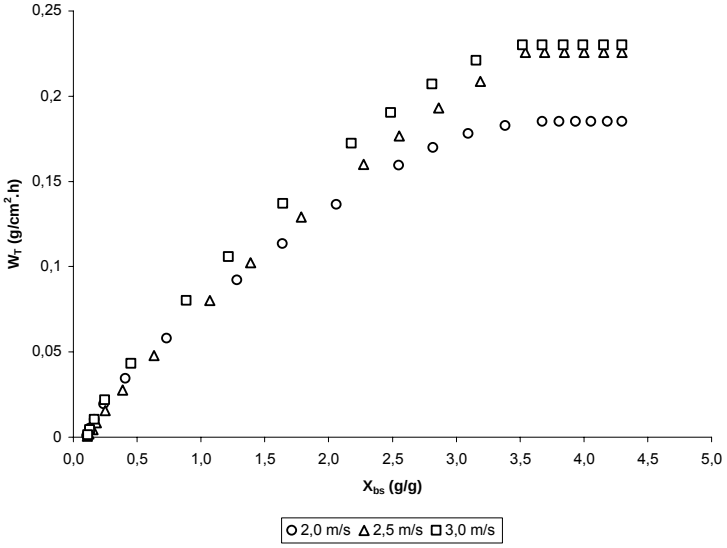

Figura 27. Cinética de secagem do resíduo a 60°C (W_T x X_{bs}).

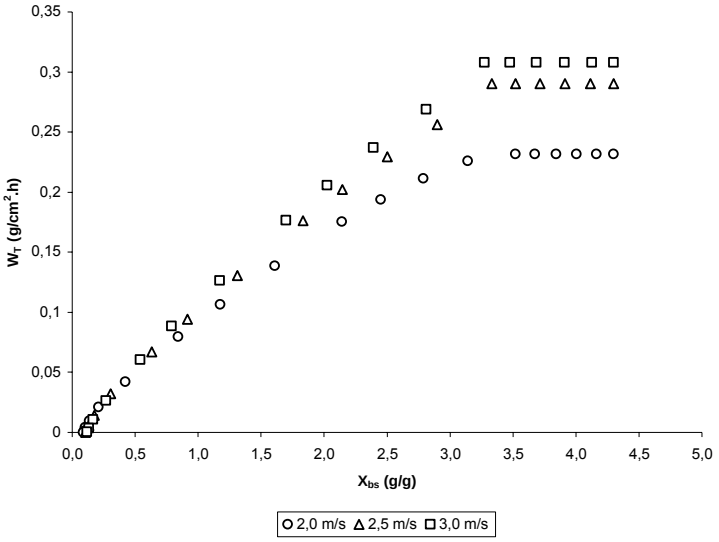

Figura 28. Cinética de secagem do resíduo a 70°C (W_T x X_{bs}).

4.2.3. Avaliação estatística dos dados de secagem

Na Tabela 7 são apresentadas as variáveis de entrada (variáveis independentes) utilizadas no planejamento experimental, sendo: temperatura de secagem (T) e velocidade do ar de secagem (V_{ar}), juntamente com as variáveis de resposta (variáveis dependentes), sendo: umidade de equilíbrio (X_e), tempo total de secagem (t_{total}), taxa de secagem no período de secagem à velocidade constante (W_{TC}) e cor final do produto (ΔE).

Tabela 7. Planejamento experimental: resultados dos ensaios de secagem.

Corridas	T (°C)	V_{ar} (m/s)	X_e (g/g)	t_{total} (min)	W_{TC} (g/cm².h)	Cor (ΔE)
1ª	50	3,0	0,147	320	0,186	93,51
2ª	60	2,5	0,109	220	0,213	92,88
3ª	70	2,0	0,084	220	0,232	92,99
4ª	70	3,0	0,110	200	0,308	94,71
5ª	50	2,5	0,121	300	0,153	92,55
6ª	50	2,0	0,131	300	0,134	92,04
7ª	60	2,0	0,098	260	0,185	92,40
8ª	60	3,0	0,102	220	0,230	92,41
9ª	70	2,5	0,104	200	0,290	93,65
10ª	60	2,5	0,099	240	0,251	90,23
11ª	60	2,5	0,104	220	0,239	89,76

Onde: temperatura de secagem (T), velocidade do ar de secagem (V_{ar}), umidade de equilíbrio (X_e), tempo total de secagem (t_{total}), taxa de secagem no período de secagem à velocidade constante (W_{TC}) e cor final do produto (ΔE).

De acordo com os resultados obtidos com a análise de variância, a temperatura exerceu influência significativa linear ($p < 0,01$) sobre a variável de

resposta umidade de equilíbrio, cujo comportamento pode ser observado na Figura 29. Não houve efeito significativo da variável velocidade do ar de secagem ($p < 0,05$) sobre a umidade de equilíbrio, na faixa de velocidade utilizada no estudo.

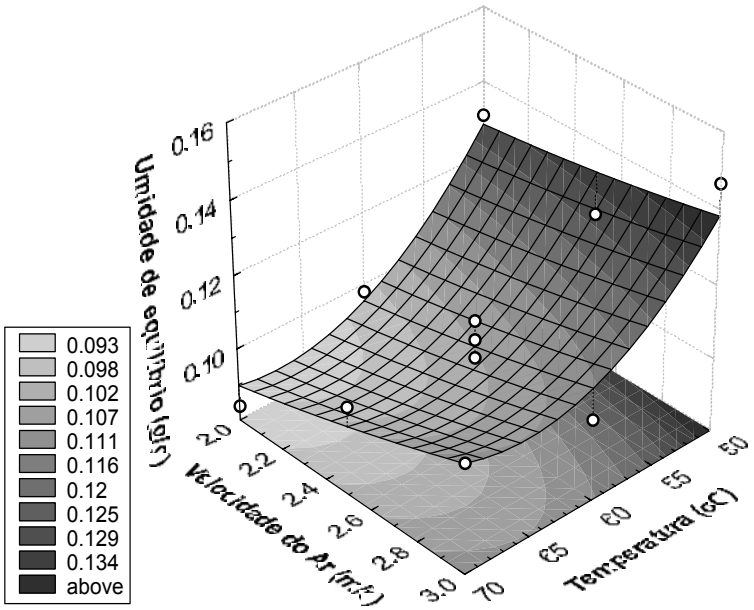

Figura 29. Umidade de equilíbrio em função da velocidade do ar e temperatura.

A temperatura exerceu influência significativa linear ($p < 0,001$) e quadrática ($p < 0,05$) sobre a variável de reposta tempo de secagem, cujo comportamento pode ser observado na Figura 30. Não houve efeito significativo da variável velocidade do ar de secagem ($p < 0,05$) sobre o tempo de secagem, nas condições do estudo.

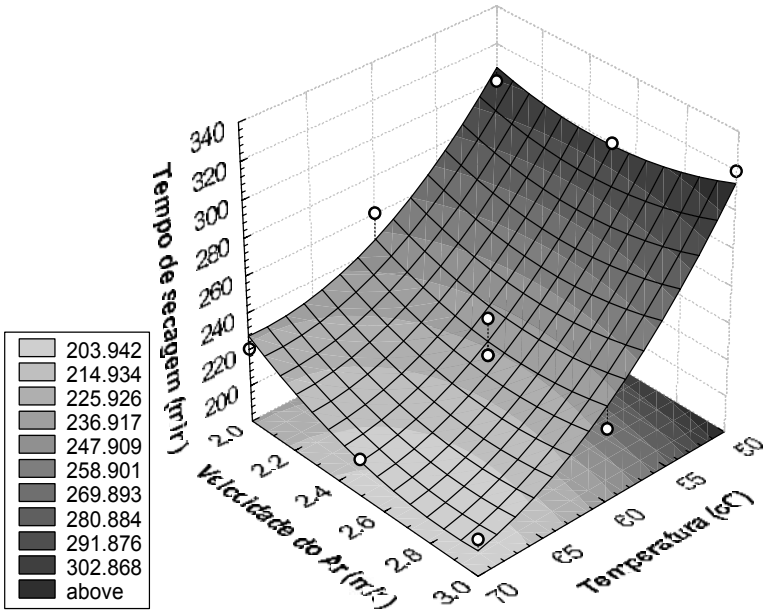

Figura 30. Tempo de secagem em função da velocidade do ar e temperatura.

A temperatura ($p < 0,001$) e a velocidade do ar de secagem ($p < 0,01$) exerceram influência significativa linear sobre a variável de reposta taxa de secagem no período de secagem à velocidade constante, cujo comportamento pode ser observado na Figura 31.

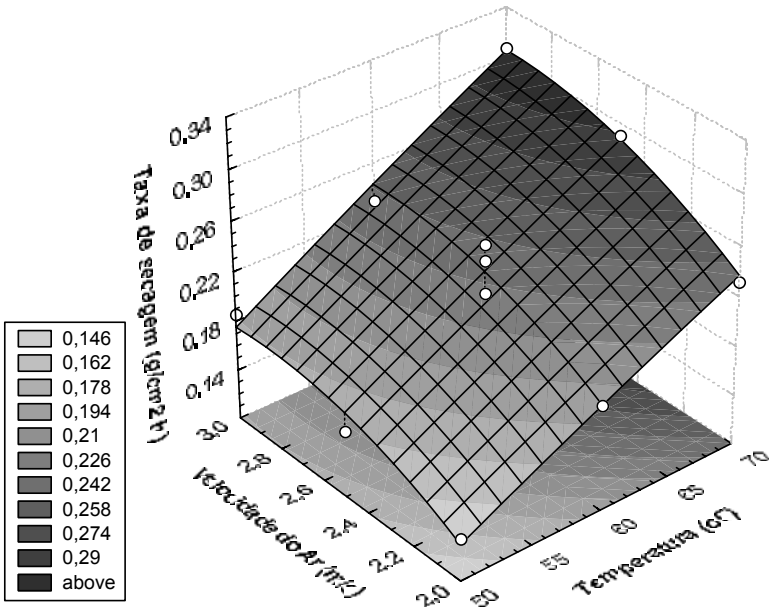

Figura 31. Taxa de secagem em função da velocidade do ar e temperatura.

Apesar de o resíduo ter sofrido um escurecimento após a secagem nas diferentes condições, a variável cor não sofreu efeito significativo ($p < 0,05$) das variáveis temperatura e velocidade do ar de secagem, nas faixas estudadas. O resíduo se apresentou suavemente amarelado quando bruto, e sofreu um pequeno escurecimento após secagem, de acordo com o diagrama de cromaticidade e com a diferença entre os valores de ΔE. Este escurecimento é atribuído à reação de Maillard.

Constatou-se, com 95% de certeza, que não houve falta de ajuste dos modelos estatísticos, que predisseram as superfícies de resposta, para as diferentes relações entre as variáveis independentes e dependentes.

4.3. ISOTERMAS DE SORÇÃO DE UMIDADE

Na Tabela 8 são apresentados os dados de equilíbrio de adsorção e dessorção, nas temperaturas de 25ºC e 40ºC, para o resíduo fibroso de abacaxi seco. As isotermas de adsorção e dessorção de umidade, construídas a partir destes

dados estão representados nas Figuras 28 e 29; onde se observa que as mesmas apresentam a concavidade para o eixo das abscissas e que o produto apresentou isotermas de adsorção e dessorção do Tipo III, de acordo com a classificação de Salwin (1959). Este comportamento é respaldado pela composição do produto, o qual apresentou um teor de açúcares totais superior a 60%.

Tabela 8. Dados de equilíbrio de adsorção e dessorção de umidade.

Adsorção				**Dessorção**			
25ºC		**40ºC**		**25ºC**		**40ºC**	
a_w	**m**	a_w	**m**	a_w	**m**	a_w	**m**
0,176	14,55	0,165	14,61	0,941	113,51	0,927	108,86
0,258	15,48	0,237	15,38	0,925	104,86	0,866	68,08
0,274	15,89	0,263	16,06	0,921	98,95	0,842	60,72
0,275	15,89	0,299	16,95	0,906	93,40	0,827	57,95
0,287	16,24	0,325	17,47	0,903	84,84	0,787	51,64
0,308	16,79	0,364	18,82	0,820	55,91	0,772	48,06
0,331	17,31	0,393	19,65	0,806	54,43	0,758	46,63
0,358	18,41	0,448	21,45	0,748	44,23	0,716	40,57
0,427	20,38	0,485	22,80	0,733	42,58	0,655	33,97
0,489	22,44	0,504	23,93	0,711	39,66	0,607	31,08
0,520	24,46	0,526	25,40	0,699	37,75	0,572	28,57
0,538	25,64	0,545	26,69	0,631	32,56	0,625	32,49
0,571	27,98	0,576	28,38	0,593	30,04	0,589	30,24
0,592	29,39	0,640	32,17	0,586	29,48	0,536	26,95
0,624	31,34	0,656	33,16	0,559	28,11	0,547	27,64
0,659	34,11	0,680	35,20	0,504	25,40	0,429	22,24
0,693	36,46	0,700	37,34	0,445	23,81	0,384	20,69
0,708	37,91	0,759	43,69	0,395	21,50	0,336	19,20
0,722	39,85	0,772	46,16	0,360	20,83	0,269	18,03
0,740	41,39	0,794	50,02	0,327	19,63	0,260	17,44
0,811	52,28	0,854	66,18	0,303	19,23	0,248	17,54
0,824	55,19	0,877	71,80	0,277	18,35	0,232	16,07
0,833	57,13	0,883	75,26	0,222	16,26	0,211	14,84
0,945	116,50	0,927	108,86	0,199	16,21	0,165	15,00

Com base nos dados de adsorção constata-se que para o produto apresentar níveis de a_w superiores a 0,6, há necessidade de estar com níveis de umidade superiores a 30 g H_2O/100 g b.s.; indica que o produto apresentará estabilidade microbiológica, de acordo com Scott (1957), quando estiver com umidade abaixo de tal nível de umidade.

Nas Figuras 32 e 33 é possível observar que as isotermas apresentaram um leve efeito de histerese, o qual se estendeu na faixa de 0,2 a 0,7 de a_w (região de condensação capilar). Observa-se ainda que as isotermas de adsorção do resíduo

apresentaram comportamento linear até níveis de aproximadamente 0,48 de a_w, e a partir destes valores passaram a apresentar um comportamento exponencial, com aumento progressivo da quantidade de umidade retida pelo produto.

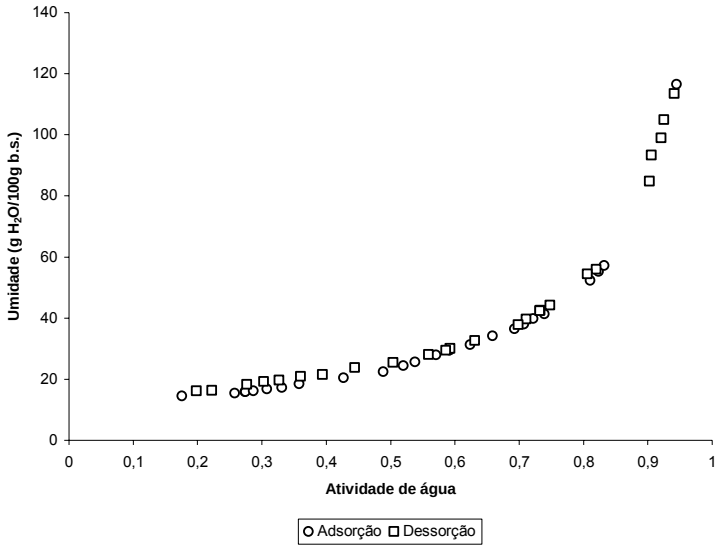

Figura 32. Isotermas de adsorção e dessorção a 25ºC para o resíduo do abacaxi.

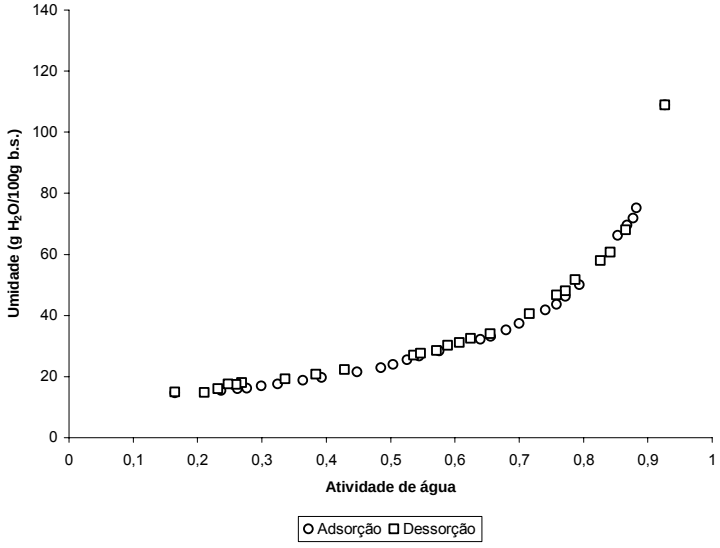

Figura 33. Isotermas de adsorção e dessorção a 25ºC para o resíduo do abacaxi.

Nas Figuras 34 e 35 são apresentadas as isotermas de adsorção a 25ºC e 40ºC, simultaneamente, evidenciando o efeito da temperatura. Como pode-se perceber as isotermas, nas diferentes condições de temperatura, apresentam-se sobrepostas, o que deixa claro a não influência da temperatura sobre os dados de sorção na faixa estudada. A não existência do efeito de temperatura impossibilitou o cálculo dos calores de dessorção.

A sobreposição das isotermas de adsorção e dessorção indica que o aumento de temperatura, na faixa estuda, não interferiu significativamente sobre a interação soluto/solvente do produto, ou seja, apesar do produto ser rico em açúcares, os mesmos não tiveram suas solubilidades significativamente afetadas com o aumento da temperatura, o que acarretaria um maior consumo de moléculas de H_2O.

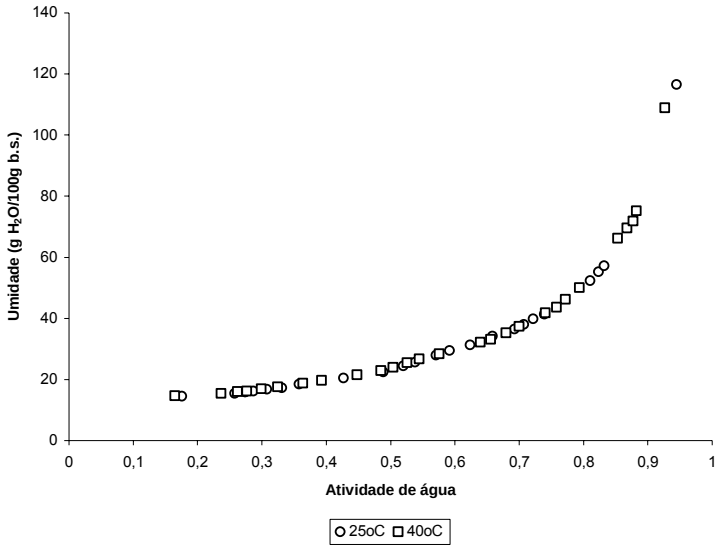

Figura 34. Efeito da temperatura nas isotermas de adsorção do resíduo do abacaxi.

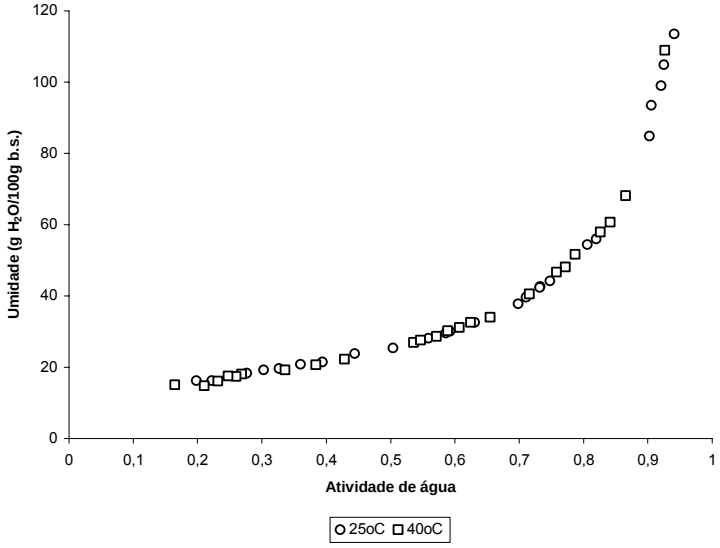

Figura 35. Efeito da temperatura nas isotermas de dessorção do resíduo do abacaxi.

Os valores médios da monocamada (m_o) para adsorção e dessorção foram de 11,6 g H_2O/100 g b.s. e 12,7 g H_2O/100 g b.s., respectivamente. A monocamada é o limite de umidade abaixo do qual há o favorecimento da elevação do consumo de energia, para que se possa eliminar a quantidade residual de água do alimento.

Desta forma não é recomendado a secagem do produto a níveis inferiores a estes, para evitar gasto excessivo de energia.

Tomando como base o processo de dessorção não se recomenda a secagem do produto a níveis inferiores a 12 g H_2O/100 g b.s., para evitar possíveis gastos excessivos de energia. Esta condição foi observada em praticamente todos os ensaios de secagem realizados.

5. CONCLUSÕES

Mostrou-se viável o aproveitamento da fibra residual do abacaxi, através de secagem em camada delgada, na obtenção de um produto com baixa umidade (tipo farinha), rico em fibras dietéticas, o qual pode ser utilizado como complemento alimentar, em dietas que necessitem de fibras; devendo-se atentar para o teor de açúcar, no caso de dietas especiais.

Apesar do elevado teor em fibras dietéticas totais o produto não apresenta uma boa relação fibras insolúveis/fibras solúveis, quando comparado aos teores de ingestão recomendados.

A melhor condição de secagem para que se obtenha um produto estável microbiologicamente, sem desperdício de energia, será a 60ºC, com velocidade do ar de secagem de 2,0 m/s.

A temperatura foi a variável de entrada que mais influenciou nas variáveis de resposta analisadas, não interferindo de maneira significativa somente na variável cor, e a cinética de secagem demonstrou que a maior fração da água presente no produto se apresenta na forma ligada.

As isotermas de adsorção e dessorção das fibras residuais do abacaxi, após secagem, apresentaram um comportamento típico de isotermas do Tipo III.

As isotermas do produto apresentaram um suave efeito de histerese na faixa de atividade de água de 0,3 a 0,7.

O produto estudado será considerado microbiologicamente estável se apresentar um teor de umidade superior a 30 g H_2O/100 g b.s.

Através deste trabalho foi possível implantar as metodologias oficiais para determinação de fibras dietéticas totais e insolúveis, pectina, ß-glucanas e celulose.

REFERENCIAS

AMIN, M.M.; BOULHOSA, R.L.M. **Uma abordagem sobre a indústria de beneficiamento do abacaxi no estado do Pará**, Belém, Pará, 2002.

AOAC (Association Of Official Analytical Chemists) **Official methods of Analysis.** 16º ed, 3rd rev, 1997.

BARROSO, M.A; SARTORI, D.J.M; FREIRE, J.T. **Transferência de calor e massa em leito deslizante e escoamento cruzados**. Secagem de sementes de soja. In: Tópicos especiais em sistemas particulados. São Paulo, UFSCAR, 1998.

BOTELHO, L.; CONCEIÇÃO A.; CARVALHO V.D. Caracterização de fibras alimentares da casca e cilindro central do abacaxi *Smooth cayenne*. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v.26, n.2, p.362-367, 2002.

CALIXTO, F.S. Fibra dietética de manzana: hacia nuevos tipos de fibras de alta calidad. **Alimentaria**, Madrid, v.4, n.1, p.57-61, 1993.

CALIXTO, F.S; ALONSO, A.G. Metodologia para el análisis de fibra y carbohidratos. In: LAJOLO, F.M.; CALIXTO, F.S.; PENNA, E.W., MEMEZES, E.W. **Fibra dietética em Iberoamérica: Tecnologia y Salud**. Obtención, caracterización, efecto fisiológico y aplicación em alimentos, São Paulo: Varela, 2001. p.17-25.

CAMBRODÓN, I.G.; MARTIN-CARRÓN, N. Fermentación colónica de fibra dietética y almidón resitente. In: LAJOLO, F.M.; CALIXTO, F.S.; PENNA, E.W., MEMEZES, E.W. **Fibra dietética em Iberoamérica: Tecnologia y Salud**. Obtención, caracterización, efecto fisiológico y aplicación em alimentos, São Paulo: Varela, 2001. p.17-25.

CHAMP, M.; LANGKILDE, A.M.; BROUNS, F.; KETTLITZ, B.; COLLET, Y.L.B. Advances in dietary fibre characterisation. 1. Definition of dietary fibre, physiological relevance, health benefits and analy1ical aspects. **Nutrition Research Reviews**, v.16, p.71-82, 2003.

CONTI, V.L.M. Fibras na nutrição humana. **Nutrição enteral e esportiva**, p.14-17, 1990.

FARIA, L.J.G. de. **Análise experimental do processo de secagem de urucum (Bixaorellana L.) em leito fixo**. 1998.Tese (Doutorado) em Engenharia Química – Faculdade de Engenharia Química. Universidade Estadual de Campinas.

FENNEMA,O.R **Química de los alimentos,** 2º Edição. Editora Acribia, S.A. Zarogoza, 2000.

FERRUA, F.Q.; BARCELOS, M.F.P. **Equipamentos e embalagens utilizados em tecnologia de alimentos**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2003.

GAVA, A.J. **Princípios de tecnologia de alimentos**. São Paulo, 1984.

GORINSTEIN, S; GRIGELMO-MIGUEL, N.; MARTIN-BELLOSO, O. Characterisation of peach dietary fibre concentrate as a food ingredient. **Food Chemistry**, v.65, p.175-181, 1999.

GUERRA, R.B.; NEVES, E.C.A.; PENA, R.S. Processamento e caracterização de leite bubalino em pó em secador por nebulização. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.25, n.3, p.443-447, 2005.

IBGE (Rio de Janeiro,RJ). **Produção agrícola municipal**. Disponível em:<www.sidra.ibge.gov.br>. Acesso em 2004.

LABUZA, T.P. Interpretation of sorption data in ralation to the state of constituent water. In: DUCKWORTH, R.B. **Water Relations of Foods**. London, Academic Press, 1975. p.155-172.

LABUZA, T.P. Sorption phenomena in foods. **Food technology**, v.22, n.263, p.15-24, march, 1968.

LABUZA, T.P. The effect of water activity on reaction kinetics of food deteoriration. **Food technology**, v.34, n.4, p.36-41, 1980.

LARONDELLE, I. **Química e Bioquímica de alimentos I,** Mestrado em Ciência e tecnologia de alimentos, UFPa, 2004.

MAHAN, L.K.; ESCOTT-STTUMP, S. **Krause alimentos, nutrição & dietoterapia**. 10.ed., São Paulo: Roca, 2002.

MANRIQUE, G.D.; LAJOLO, F.M. Maduración, almacenamiento y procesamiento de frutas y vegetales: modificaciones em los componentes de la fibra soluble. In: MEDINA, J.C; BLEINROTH, E.W.; MARTIN, Z.J.; SOUZA, A.J.; LARA, J.C.C.; HASHIZUME, T. **Série Frutas Tropicais 2**. Abacaxi: da Cultura ao processamento e Comercialização, ITAL, Governo do Estado de São Paulo, 1978. p.5-14.

MEDINA, J.C; BLEINROTH, E.W.; MARTIN, Z.J.; SOUZA, A.J.; LARA, J.C.C.; HASHIZUME, T. **Série Frutas Tropicais 2**. Abacaxi: da Cultura ao processamento e Comercialização, ITAL, Governo do Estado de São Paulo, 1978. p.5-14.

MATISSEK, R.; SCHNEPEL, F.; STEINER, G. **Análisis de los alimentos:** fundamentos, métodos e apliciones. Acribia, S.A., Zaragoza, 1998.

McCLEARY, B.V.; GLENNIE-HOLMES, M. Enzymic quantification of (1-3)(1-4)-β-D-glucan in barley and malt. **Journal of the Institute of Brewing**, v.91, p.285-295, 1985.

MENDONÇA, N.B. **Caracterização e secagem do segundo resíduo da industrialização do suco de maracujá em secador de leito fixo**. 2005. 62f. Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia Química – Universidade Federal do Pará, Belém, 2005.

MILLER, G.L. Use of dinitrosalisylic acid reagent for determination of reducing sugar. **Anal. Chem.**, v.11, p.426-428, 1959.

MUJUNDAR A.R. **Handbook of industrial drying**. Marcel Dekker. New York, 1987. p.3-5.

POURCHET-CAMPOS, M.A. Fibra: a fração alimentar que desafia os estudiosos. **Alimentos e Nutrição**, São Paulo, v.2, n.1, p.53-63, 1990.

PRIOR, B.A.J. Measurement of water activity in food: A Review. **Journal of Food Protection**, v.42, n.8, p.668-674, 1969.

QUAST, D.G. Físico-Química da água em alimentos desidratados. **Boletim do Centro Tropical de Pesquisas e Tecnologia de Alimentos**, n.13, p.1-25, 1968.

ROBERFROID, M. Dietary fiber, inulin and oli-gofrutose: a revewcomparing their phisiological efects. **Critical Review of Food Science Nutrition**, v.33, n.6, p.1303-1348, 1993.

ROCKLAND, L.B. Water activity and storage stability. **Food Technology**, v.23, n.10, p.11-21, 1969.

RUPÉREZ, P.; BRAVO, L. Oligofructanos y gomas. In: LAJOLO, F.M.; CALIXTO, F.S.; PENNA, E.W.; MEMEZES, E.W. **Fibra dietética em Iberoamérica: Tecnologia y Salud**. Obtención, caracterización, efecto fisiológico y aplicación em alimentos, São Paulo: Varela, 2001. p.61-75

SALWIN, H. Defining minimum moisture contents for dehydrated foods. **Food Technology**, v.13, p.594-585, 1959.

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

SILVA, D.J.; QUEIROZ, A.C. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos**. 3.ed. Viçosa: UFV, 2002. 235p.

SILVA, E.M. **Otimização de métodos de análise de antocianinas: poder antioxidante e quantificação rápida**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Química, UFPA/CTEC/DEQAL, Belém-PA (2002).

SILVA, M.A.D.; BARCELOS, M.F.P.; SOUSA, R.V.; LIMA, H.M.; FALCO, I.R.; LIMA A.L.; PEREIRA, M.C.A. Efeito das fibras dos farelos de trigo e aveia sobre o perfil lipídico no sangue de ratos (*Rattus norvegicus*) Wistar. **Ciência Agrotécnica**, v.27, n.6, p.1321-1329, 2003.

TEIXEIRA NETO, R.O; DENIZO, N.; QUAST, D.G. Atividade de água em alguns alimentos de teor intermediário de umidade. II. **Coletânea do Instituto de Tecnologia de Alimentos**, v.7, p.191-207, 1976.

TROLLER, J.A. Methods to measure water activity. **Journal of Food Protection**, v.46, n.2, p.129-134, 1983.

UBOLDI EIROA, M.N. Atividade de água: Influência sobre o desenvolovimento de microrganismos e métodos de determinação em alimentos. **Boletim do ITAL**, campinas, p.353-381, 1981.

ANEXOS

ANEXO 1

Determinação de beta-glucanas

Reagentes:

- Lichenase [specific, endo-(1-3),(1-4)-ß-D-glucan 4-glucanohydrolase EC 3.2.1.73] (>1,000 U/mL)
- ß-Glucosidase [EC 3.2.1.21] (> 40 U/mL)
- Tampão Fosfato de sódio (20 mM, pH 6,5)
- Tampão acetato de sódio (50 mM, pH 4,0)
- Kit para determinação de Glicose (Glucose Hexokinase reagente)

Equipamentos:

- Tubos de ensaio com capacidade para 35 mL
- Micropipetas
- Spectrofotômetro ajustado a 340 nm
- Banho-Maria ajustado a 40ºC e 100ºC
- Filtro Whatman nº 41

Procedimento:

- reduzir o tamanho da amostra para 0,5 mm.
- pesar 0,5g de amostra de umidade conhecida em tubos de polipropileno.
- adicionar uma alíquota de 1,0 mL de etanol (50% v/v) aos tubos.
- adicionar 5mL de tampão fosfato de sódio (20 mM, pH 6,5) e agitar os tubos em mixer. Retire os tubos e agite no mixer.
- colocar os tubos em banho de água a 100ºC por aproximadamente 2 min. Retire os tubos e agite no mixer. Aqueça os tubos por mais 3 min no banho de água a 100ºC. (Misturar após 2 min para a prevenção de formação de géis).
- Esfrie os tubos até 40ºC e adicione 0,2 mL de lichenase (10 U) no tubo. Tampe o tubo, agite, e incube a 40ºC durante 1 hora.
- Ajuste o volume do tubo para 30 mL através da adição de água destilada.
- Misture completamente o conteúdo do tubo e filtre através de um Whatman Nº41 filter circle (ou centrifugue a aproximadamente 1000 G durante 10 min).
- Cuidadosamente e precisamente transfira a alíquota de 0,1mL do filtrado para três cubetas.

- Adicionar a alíquota 0,1 mL de tampão de acetato de sódio (50 mM, pH 4,0) para um dos tubos (Branco), e nos outros dois adicionar 0,1 mL de β-glucosidase (0,2 U) em 50mM de tampão acetato (pH 4,0). Incube os tubos a 40ºC at 15 min.

- Determinar o conteúdo de glicose para o branco e para o teste. Pipetar 0,1 mL para uma cubeta com 1mL de enzima para determinação de glicose e 0,1 mL para uma cubeta com 1 mL de água (branco da amostra)em outra cubeta pipetar 0,1 mL de água em 1 mL de enzima para determinação de glicose (branco do reagente).

- Medir a absorbância a 340 nm para cada amostra.

Cálculos:

Beta-glucanas, (% p/p) = (Cgt-Cgb)x(300)x(1/1000)x(100/P)x(162/180)

Onde:

Cgt: é a concentração de glicose do teste

Cgb: é o conteúdo de glicose do branco

300: é o fator de correção do volume

100/P: fator para expressar o conteúdo de beta-glucanas em percentagem de matéria seca

162/180: ajuste de glicose livre para anidrido glicose

Cálculo para determinação de glicose

$A_{branco\ total} = A_{branco\ da\ amostra} + A_{branco\ do\ reagente}$

mg de glicose/mL = (ΔA)(VT)(F)(0,029)/(VA)

onde:

ΔA: é $A_{teste} - A_{branco\ total}$

VT: é o volume total

F: é o fator de diluição

VA: volume da amostra

ANEXO 2

Determinação de celulose

Princípio:

Baseia-se na dissolução de todos os componentes da amostra com exceção da celulose e dos minerais por meio de reagentes ácidos.

Equipamentos

- Aparelho de banho-maria
- Balança analítica
- Cadinho filtrante com capacidade de 50ml
- Estufa com circulação de ar
- Forno mufla
- Sistema de vácuo

Reagentes

- Ácido Acético glacial
- Ácido Nítrico
- Álcool Etílico
- Benzeno
- Éter Etílico

Procedimento:

- Pese aproximadamente 1 g da amostra seca em tubo de ensaio.
- Adicione 16,5 ml de solução reagente ácido ao tubo de ensaio com a amostra, tampe e o leve ao banho-maria em ebulição durante 30 min.
- Retire os tubos do banho-maria e adicione 20 ml de etanol e deixe-os esfriar.
- Filtre quantitativamente, sob vácuo, em cadinho filtrante (previamente seco a 105ºC).
- Lave os resíduos com 20 ml de etanol quente, em seguida com 20ml de benzeno e por fim com 20 ml de éter etílico.
- Seque os cadinhos em estufa a 105ºC durante 6 horas. Retire, esfrie em dessecador e pese.
- Coloque os cadinhos na mufla a 500ºC durante 2 horas.
- A diferença entre as massas, antes e após a queima, fornece a massa de celulose da amostra.

ANEXO 3

Determinação de pectina

Reagentes:

- Solução etanólica de Carbazol: Mistura-se 0,1 g de carbazol com álcool a 96% em balão de 100 ml;
- Etanol 96%;
- Solução de Ácido Galacturónico: mistura-se 120,5 mg de ácido galacturônico em um balão de 1000ml com 0,5ml de solução de hidróxido de sódio 1 M e deixa-se em repouso durante uma noite;
- Hidróxido de sódio 1 M;
- Ácido Sulfúrico 98%.

Equipamentos

- Centrífuga
- Tubos de ensaio
- Banho Maria a 85ºC
- Espectrofotômetro ajustado em 525nm

Procedimento:

Isolamento das pectinas

- Aquece-se 15 ml de suco ou 4,0 g de amostras em um tubo de centrifuga de 50 ml, com 12 ml de água e 12 de etanol a 96% aquecido.
- manter em banho de água a 85ºC durante 10 min.
- completa-se o volume para 50 ml com etanol. Depois de centrifugar (15 min) e decantar, desprezar o sobrenadante.

Extração das pectinas totais

- O precipitado obtido é colocado em um balão de 100 ml com a ajuda de água.
- Adiciona-se 5ml de solução de NaOH (1 mol/l). Afere-se com água destilada.
- mistura-se bem e filtra-se depois de inverter ocasionalmente o balão durante 15min.

Reação de cor

-Pipeta-se volumes de 1ml do filtrado obtido a dois tubos de ensaio. A um deles se adiciona 0,5ml de etanol (96%) e ao outro 0,5ml de solução de carbazol (dissolução problema).

Na dissolução problema se formará um precipitado branco. Em ambos os tubos se adicionam 6ml de H_2SO_4 (98%), deve realizar em 7s para alcançar as dissoluções a uma temperatura de 85ºC.

- Os tubos de ensaio devem ser colocados imediatamente em banho de água a 85ºC.

- Depois se esfria a temperatura ambiente e no prazo de 15min se leva para leitura em espectrofotômetro.

Curva Padrão

Para traçar a curva padrão se tratam e medem fotometricamente as dissoluções padrão de Ac. Galacturônico (AG) segundo as condições descritas em C.

Cálculos:

Pectina (mg de AG/kg de amostra)= Gx100/4

Onde:

G é a quantidade de ácido galacturonico em µg obtida através da curva padrão.

4: é peso da amostra para fazer a análise.

100: fator de conversão para kg em mg de pectina

ANEXO 4

DETERMINAÇÃO DE FIBRA ALIMENTAR PELO MÉTODO ENZIMÁTICO

1.Princípio

Amido e proteínas são removidos das amostras enzimaticamente e o resíduo resultante, o qual é insolúvel em etanol à 78%, é determinado gravimetricamente. Correções são aplicadas para o cálculo de proteínas residuais e componentes inorgânicos.

2.Utensílios:

- Cadinhos calcinados com marcas de identificação porosidade nº.2 (Pyrex nº.32940), rugosidade ASTM 40-60 µm; ou granulação nº.36060, “disco” calcinado, Pyrex 60 ml ASTM 40-60 µm; ou Pyrex P100 de acordo com ISO 4793, 40-100 µm.
- Bomba de vácuo ou aspirador, preferencialmente com válvula reguladora;
- Frascos para filtração com capacidade para 2 litros, com paredes grossas e braço lateral;
- Anel adaptador de borracha para utilização com os frascos de filtragem;
- Dessecador;
- Forno mufla com capacidade para manter a temperatura em 525 ± 5ºC;
- Banho de água com agitação capaz de manter a temperatura em 60ºC e 98 ± 2ºC;
- Béqueres altos com capacidade para 600 ml;
- pHmetro;
- Balança analítica com precisão de ± 0,1 mg;
- Estufa com circulação de ar capaz de manter a temperatura em 105 ± 3ºC.

3.Reagentes

- Solução de etanol à 95% reagente P.A.
- Solução de etanol à 78%
- Acetona P.A
- Enzimas:

A) Solução Termamyl (α-amilase resistente ao calor)
B) Protease: Preparar na proporção de 50 mg/1 ml da solução tampão com auxílio de uma pipeta de ponta descartável e um tubo de Ependorf.
C) Solução de amiloglucosidase: Caso a enzima não esteja diluída, seguir o procedimento da enzima protease.

- Tampão fosfato pH (0,05M):

Adicionar 1,044g de K_2HPO_4 e 5,984g de $KH_2PO_4.H_2O$ em balão volumétrico de 1 L e completar o volume com água destilada.

- Solução de NaOH 0,171N
- Solução de HCl 0,561N
- Celite
- Solução de limpeza à 2%: Líquido do tipo sulfactante utilizado na limpeza de laboratório e destinado à limpeza crítica.

Procedimento

- *Preparação da amostra*

Desengordurar a amostra se apresentar mais que 5% de gordura: Anotar a massa de gordura, quando desengordurar, para incluir na massa do resíduo. Moer o material para que apresente partículas menores que 500 μm.

- Preparação dos cadinhos

Limpar completamente todos os cadinhos e em seguida coloca-los em uma mufla, aumentando a temperatura de 10 em 10ºC até atingir a 525ºC, deixando-os pernoitar na mufla. Desligar o forno mufla e deixar atingir temperaturas inferiores à 130ºC, antes de retirar os cadinhos. Embeber os cadinhos por 1 hora em uma solução de limpeza a 2%, à temperatura ambiente. Enxaguar os cadinhos inicialmente com água destilada e após com água deionizada ou milli-Q; finalmente enxágua-los com 15 ml de acetona e aplicar um jato de ar seco. Deixar em estufa com circulação de

ar por 45 minutos e em seguida desseca-los no dessecador. Pesar e anotar a massa do cadinho, em seguida adicionar 1g de celite (anotar a massa) e secar em estufa à 105ºC (no mínimo 90 minutos). Retirar os cadinhos e desseca-los; pesar e anotar a massa do cadinho + celite e transferir para os dessecadores, onde permanecerão até o momento da utilização.

Amostras

Pesar 1 g das amostras em duplicata (m_1 e m_2) com precisão de 0,1 mg em béqueres altos com capacidade para 600 ml. Adicionar 50 ml de tampão fosfato (pH = 6,0) em cada béquer. Agitar com auxílio de agitador magnético até que a amostra esteja completamente dispersa (prevenir formação de aglomerados, os quais podem tornar o material inacessível à enzima). Um branco (B) deve ser preparado seguindo todos os procedimentos utilizados para as amostras.

Adicionar 100 µl de solução de α-amilase resistente ao calor e agitar a mistura em baixa velocidade.

Cobrir os béqueres com folha de alumínio e incubá-los à 95-100ºC por 15 minutos, em banho de água, com agitação contínua. Iniciar a contagem do tempo somente quando a temperatura do banho atingir 95ºC (um total de 35 minutos é normalmente suficiente).

Remover os béqueres do banho de água em ebulição e resfriá-los à 60ºC em temperatura ambiente. Remover a folha de alumínio. Raspar qualquer anel que possa ter se formado nas paredes dos béqueres com auxílio de uma espátula e limpa-la com 10 ml de água destilada.

Ajustar o pH para 7,5 (±0,1) à temperatura ambiente com solução de NaOH à 0,171N. Adicionar 100 µl da solução de protease em cada béquer.

Cobrir os béqueres com folha de alumínio e incubá-los por 30 minutos à 60ºC, com agitação contínua. Iniciar a contagem do tempo quando o banho atingir 60ºC.

Retirar os béqueres do banho de água e remover a folha de alumínio. Ajustar o pH para 4,0 – 4,7 à temperatura ambiente, com solução de HCl.

Adicionar 100 µl de amiloglucosidase em cada béquer sob agitação. Cobrir com folha de alumínio e incubá-los a 60°C por 30 minutos, com agitação contínua. Iniciar a contagem do tempo somente quando a temperatura do banho atingir 60°C.

Remover os béqueres do banho e em cada amostra digerida adicionar 400 ml de etanol a 95 %, pré-aquecido para 60ºC. A relação etanol/amostra deve ser de 4:1. Cobrir com folha de alumínio os béqueres. Deixar precipitar a temperatura ambiente por 60 minutos.

Pesar o cadinho claramente identificado, contendo celite, com precisão de 0,1 mg, então umidificar e redistribuir o leito de celite no cadinho usando jato de etanol a 78%, utilizando para este fim uma piceta.

Filtrar o material digerido enzimaticamente e tratado com etanol, através do cadinho usando uma bomba de vácuo. Com uma piceta contendo etanol a 78% e uma espátula de plástico transferir quantitativamente todas as partículas remanescentes para o cadinho.

Usando vácuo, lavar o resíduo sucessivamente com duas porções de 15 ml de etanol a 78%, duas porções de 15 ml de etanol a 95 % e finalmente duas porções de 15 ml de acetona.

Secar os cadinhos contendo o resíduo durante uma noite a 105ºC, utilizando para tal fim uma estufa de secagem convencional.

Resfriar o material em dessecador por aproximadamente uma hora e pesar com precisão de 0,1 mg. Calcular o peso dos resíduos (R_1 e R_2) subtraindo a massa dos cadinhos secos com celite.

Utilizar o resíduo de um cadinho da duplicata para determinar proteínas (P), utilizando 6,25 como fator de conversão.

Incinerar o resíduo do segundo cadinho da duplicata por 5 horas a 525ºC. Resfriar em dessecador e pesar com precisão de 0,1 mg. Subtrair o peso do cadinho e da celite para determinar a massa de cinzas (A).

Cálculos:

$$\text{Fibra alimentar } (\%) = \frac{[R - (A + B + P)]}{M} \cdot 100$$

onde: $R = \frac{(R_1 + R_2)}{2}$

$$M = \frac{(m_1 + m_2)}{2}$$

P = proteína = $0,14 \times 10^{-2} \times V_{HCl}$ (ml) x f_{HCl} x 6,25

A = cinzas

B = branco

OBS. Todos os parâmetros são expressos em gramas.