ESTER RODRIGUES

SECAGEM DE ABACAXI EM SECADOR DE LEITO FIXO

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA

MINAS GERAIS – BRASIL

2006

Livros Grátis

http://www.livrosgratis.com.br

Milhares de livros grátis para download.

ESTER RODRIGUES

SECAGEM DE ABACAXI EM SECADOR DE LEITO FIXO

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 06 de Setembro de 2006.

Prof. Paulo César Stringheta
(Co-Orientador)

Dr. Sérgio Maurício Lopes Donzeles

Prof. Afonso Mota Júnior

Prof. Paulo Marcos de Barros Monteiro

Prof. Adílio Flauzino de Lacerda Filho
(Presidente da Banca)

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e Classificação da Biblioteca Central da UFV

T
R696s
2006

Rodrigues, Ester, 1965-
Secagem de abacaxi em secador de leito fixo / Ester Rodrigues. – Viçosa : UFV, 2006.
xi, 103f. : il. ; 29cm.

Inclui apêndice.
Orientador: Jadir Nogueira da Silva.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.
Inclui bibliografia.

1. Abacaxi - Secagem. 2. Abacaxi - Qualidade. 3. Secagem - Modelos matemáticos. 4. Alimentos - Desidratação - Equipamento e acessórios. I. Universidade Federal de Viçosa. II.Título.

CDD 22.ed. 634.7746

À Deus, que me sustentou e amparou principalmente nos momentos mais difíceis.

CONSAGRO

Aos meus pais, *Adeodato* (*in memorian*) e *Maria Rodrigues* e aos meus irmãos.

DEDICO

Ao meu esposo, *Luis Carlos*.

OFEREÇO

Ao amigo e Prof. Cristiano Márcio de Souza

AGRADEÇO

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Viçosa, por intermédio do Departamento de Engenharia Agrícola, pela acolhida.

Ao professor Jadir Nogueira da Silva, pelas valiosas orientações, pela confiança e amizade.

Aos professores conselheiros Paulo César Stringheta, Adílio Flauzino de Lacerda Filho, pela participação na execução deste trabalho, pelas valiosas críticas e sugestões, pelos ensinamentos e pelo apoio.

Aos professores Cristiano Márcio de Souza (UFMS), Sérgio Maurício Lopes Donzeles (EPAMIG), José Helvécio Martins, Paulo Barros Monteiro, Sandra Maria Couto, Tarcísio Pizziolo e Francisco de Assis de Carvalho Pinto pelas contribuições e sugestões.

Ao M.S. Pedro Luiz Santos Meloni (Meloni Consultoria) e ao Sr. Walter Muelli (Engedrying) pelo pelas informações, sugestões e apoio.

Ao amigo José Roberto de Freitas pela tramitação deste trabalho.

Aos funcionários do Laboratório de Pigmentos Naturais e Secagem, D. Lídia, Valério e às estudantes de Engenharia de Alimentos Aline e Gabriela e ao aluno de Agronomia Vítor pelo apoio nas análises qualitativas e tomada de dados.

Aos colegas da Pós-graduação, Carlão, Reginaldo, Roberta, Ernandes, Juan, Edney, Cláudia, Marcos, Alexandre e Cristiane, pelo companheirismo, pela amizade, pelas idéias e pelo incentivo.

Aos funcionários do Setor de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas do Departamento de Engenharia Agrícola, José Eustáquio, José Raimundo, Sebastião "Catitú", Edson e "Inhame", pela ajuda para a conclusão desta tese e a todos que, direta ou indiretamente, tornaram possível a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

ESTER RODRIGUES, filha de Adeodato Rodrigues de Almeida e Maria Rodrigues Mendes, nasceu em Barretos, Estado de São Paulo, em 15 de abril de 1965.

Em 1989, iniciou o Curso de Engenharia Agrícola na Universidade de Uberaba, graduando-se em Setembro de 1993.

Em Março de 1994, iniciou o curso de Mestrado em Engenharia Agrícola na Universidade Estadual de Campinas - Unicamp, na área de Pré-Processamento e Armazenagem de Produtos Agrícolas, defendendo tese em Agosto de 1996.

De 1998 a 2005 foi contratada pelo Centro Universitário - UNIVAG, onde iniciou suas atividades profissionais como professor de ensino superior.

De 2003 a 2004 foi contratada como professor substituto do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa.

Em 2004 foi contratada pelas Faculdades Sudamérica como professora de ensino superior, editora da Revista de Estudos Jurídicos e Coordenadora Pedagógica.

Em Abril de 2002, iniciou o curso de Doutorado em Engenharia Agrícola na Universidade Federal de Viçosa, na área de Pré-Processamento e Armazenagem de Produtos Agrícolas, submetendo-se à defesa de tese, requisito indispensável para obtenção do título de *Doctor Scientiae*, em Setembro de 2006.

SUMÁRIO

RESUMO viii
ABSTRACT x
INTRODUÇÃO 1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 5

AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS QUALITATIVOS DO ABACAXI IN NATURA E APÓS A SECAGEM 7
RESUMO 7
ABSTRACT 8
INTRODUÇÃO 9
MATERIAL E MÉTODOS 11
Condições gerais 11
Secagem 12
Análises laboratoriais 14
RESULTADOS E DISCUSSÃO 15
Sólidos solúveis totais, acidez total titulável e SST/ATT 17
Atividade de água (A_w) e potencial hidrogeniônico (pH) 19
Cor 21
CONCLUSÕES 25
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 26

CINÉTICA DA SECAGEM DE ABACAXI EM LEITO FIXO 28
RESUMO 28
ABSTRACT 29
INTRODUÇÃO 31
MATERIAL E MÉTODOS 30
Condições gerais 32
Secagem 32
Cálculo da razão de umidade..... 35
RESULTADOS E DISCUSSÃO..... 36
Temperatura e umidade relativa do ar ambiente 36
Curvas de secagem 38
CONCLUSÕES 42
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 43

MODELAGEM DA CINÉTICA DE SECAGEM DE ABACAXI EM FATIAS USANDO SECADOR DE LEITO FIXO 45
RESUMO 45
ABSTRACT 46
INTRODUÇÃO 47
MATERIAL E MÉTODOS 51
Procedimentos experimentais 59
Variação do modelo 62
RESULTADOS E DISCUSSÃO..... 63
CONCLUSÕES 75
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 75

APÊNDICE I 78

APÊNDICE II..... 91

RESUMO

RODRIGUES, Ester, D.S., Universidade Federal de Viçosa, Setembro de 2006. **Secagem de Abacaxi em Leito Fixo**. Orientador: Jadir Nogueira da Silva. Co-Orientadores: Paulo César Stringheta e Adílio Flauzino de Lacerda Filho.

As atuais preocupações do Brasil como um dos maiores produtores mundial de frutas, são as perdas no campo, durante o processamento e na comercialização destas. A adoção de métodos para reduzir estas perdas vem sendo estudada por vários pesquisadores, destacando dentre estas suas pesquisas as destinadas à secagem das frutas. Objetivou-se neste trabalho o a avaliação das propriedades do abacaxi "in natura" e após a secagem, atividade da água (Aw), potencial hidrogeniônico (pH), acidez total titulável(ATT), sólidos solúveis totais (SST) e cor; o estudo da cinética de secagem de abacaxi em secador de leito fixo sob a influência das temperaturas de 60, 65 e 70 °C e as velocidades do ar de secagem 0.5, 0.75 e 1 m s^{-1}, bem como a validação do Modelo de Thompsom adaptado para a secagem de abacaxi cortados em fatias e secado em leito fixo. O trabalho foi conduzido no Laboratório de Pré-processamento e Armazenamento de produtos vegetais do Departamento de Engenharia Agrícola e as análises no Laboratório de Pigmentos Naturais e Secagem do Departamento de Tecnologia de Alimentos, ambos localizados no campus da Universidade Federal de Viçosa (UFV). Foi usado um secador composto de resistências elétricas e um ventilador

de 372,85 W e uma bandeja de 0,335 m. O abacaxi foi descascado, cortado em fatias de espessura de 0,01 m e disposto numa bandeja em duas camadas. A temperatura do ar ambiente (bulbo seco e bulbo úmido) e do ar de exaustão foi obtida por meio de termopares, onde os dados de leitura eram visualizados e salvos em intervalos regulares de um minuto em um micro computador. A velocidade do ar de saída no secador foi mensurada por um termoanemômetro, com o sistema de aquecimento de ar desligado. O peso do produto foi mensurado em uma balança digital, em intervalos de trinta minutos. Na avaliação dos parâmetros qualitativos, os resultados da atividade da água indicaram que o produto, após a secagem, esteve seguro contra o ataque de microorganismos, o decréscimo da acidez total titulável (ATT) e aumento dos sólidos solúveis totais (SST) e da relação SST/ ATT proporcionaram o sabor mais adocicado para o abacaxi após a secagem. Em relação à cor, evidenciou-se o escurecimento do produto em todos os tratamentos usados no experimento. Observou-se por meio das curvas de secagem que a temperatura do ar de secagem e a velocidade do ar de secagem exercem influência no tempo de secagem. A equação de Lewis é valida para representar a razão de umidade em função do tempo. O modelo matemático proposto por Thompson para a secagem de milho adaptado para a secagem de abacaxi em pedaços usando secador de leito fixo mostrou-se viável e apresentou precisão satisfatória e é válido para simular a secagem de abacaxi. O programa computacional desenvolvido, Desidrat 1.0, pode ser utilizado para prever os resultados relacionados às condições em que a secagem foi realizada.

ABSTRACT

RODRIGUES, Ester, D.S., The Federal University of Viçosa, September 2006. **Pineapple Drying in a Fixed Bed Drier**. Advisor: Jadir Nogueira da Silva. Co-Advisers: Paulo César Stringheta and Adílio Flauzino de Lacerda Filho.

The current worries of Brazil as one of the world's greatest fruit producers are the field losses during their processing and commercializing. The adoption of methods to reduce these losses has been studied by many researchers, outstanding among them, the ones directed towards fruit drying. This study aimed at the pineapple "in natura" properties evaluation, and after drying, the water activity (Aw), hydrogenised potential (pH), acidity (ATT), total soluble solids (SST) and color; the pineapple kinetics drying in a fixed bed drier under the influence of temperatures of 60, 65 and 70 ^{o}C, and the drying air speed of 0,5, 0,75 and 1,00 m s^{-1}, as well as the validation of the Thompson model adapted to the pineapple cut in slices drying and dried in a fixed bed. The study was carried out in the Vegetal Products Pre-processing Laboratory in the Agricultural Engineering Department, and the laboratorial analysis in the Natural Pigmentation and Drying Laboratory of the Food Engineering Department, both at the Federal University of Viçosa (UFV). An electrical resistance drier, a 0.5 HP fan and a 0.335 m platter were used. The pineapple was peeled, cut in slices of a 0,01 m thickness and set on a tray in two layers. The room temperature

(dried and humid bulb) and the exhausting air temperature were obtained through thermopairs, where the reading data were visualized and saved in regular intervals of one minute on a microcomputer. The air speed exit the drier was measured by a thermo anemometer, with a heating system of turned off air. The product weight was measured on a digital scale, in thirty-minute intervals. On the qualitative parameters evaluation, the water activity indicated that the product after drying was safe against the microorganism's attacks, the acidity decrease and the total soluble solids increase and SST/ATT provided a more sweetened flavor to the pineapple after drying. In relation to the color, a product darkening was evidenced in all the treatments used in the experiment. Through the drying curves it was observed that the greater the temperature, the greater the drying tax, concluding that the temperature is a factor that dominates the drying process. It was also concluded that the drying air venting also exerts an influence over the drying time, however, in a smaller proportion than the temperature. The equation proposed by Lewis is valid to represent the humidity mean in relation to time. The mathematical model proposed by Thompson for the corn drying adapted to the pieced pineapple drying using a fixed bed drier showed to be practicable, and presented a satisfactory precision, and is valid to simulate the pineapple drying. The computational program developed, Desidrat 1.0, can be used to preview the results related to the conditions in which the drying was carried out.

KEY WORDS: pineapple-drying, pineapple-quality, pineapple-modeling.

INTRODUÇÃO

Um dos resultados da globalização foi a crescente integração das economias e das sociedades dos vários países, especialmente no que se refere à produção de mercadorias bens e serviços, bem como aos mercados financeiros, e à difusão de informações. Estes fatores exercem influência no setor agrícola nos padrões que definem a qualidade dos alimentos, no trabalho, no meio ambiente, assim como nas regulamentações que administram a introdução de novos produtos no mercado internacional (CAVALCANTI, 1995).

A população mundial acha-se com aproximadamente 6,5 bilhões de pessoas e poderá chegar a 9,1 bilhões em 2050. É inevitável o aumento da demanda de alimentos. O Brasil possui clima diversificado, chuvas razoavelmente regulares, energia solar em abundância, aproximadamente 13% de toda a água doce de todo o planeta e cerca de 380 milhões de área agricultável. Estes fatores, aliados ao desenvolvimento científico-tecnológico e a modernização da atividade rural, aumentam a expectativa do mercado nacional e internacional em relação ao Brasil como provedor de boa parte dos alimentos necessários para os habitantes deste planeta (RUGGIERO, 2004).

A fruticultura é estratégica para o agronegócio brasileiro, com uma produção que superou a 45 milhões de toneladas no ano de 2005 (FAO, 2006). O Brasil assume o quinto lugar no ranking mundial e produz frutas bem diversificadas. O consumo de frutas é crescente em todo mundo devido ao maior

cuidado das pessoas com a saúde, pois assumem grande importância no fornecimento de nutrientes, tais como vitaminas e minerais, além de fibras. Devido ao enorme potencial do país na área de fruticultura e com plenas condições de ampliar sua participação no mercado internacional, o governo e os produtores do setor estão investindo em sistemas de cultivo de frutas de alto padrão de qualidade e sanidade (RUGGIERO, 2004).

O abacaxi é um fruto de grande aceitação nos mercados interno e externo, consumido em todo o globo terrestre, sendo rico em açúcares, sais minerais e vitaminas. A cultura é de grande importância para a economia brasileira, quando se verifica a possibilidade expansão do cultivo, a ampliação de sua indústria e o incremento na exportação. No Brasil, existem centenas de variedades de abacaxi, no entanto, são considerados comercialmente como os mais importantes o pérola, amarelo comum ou boituva e smooth cayenne (havaiano).

O Brasil é o quarto produtor mundial de abacaxi, sendo superado pelos países Tailândia, Filipinas e China (FAO, 2006). Na produção nacional, destaca-se o estado da Paraíba, Pará e Minas Gerais (IBGE, 2006). A produção brasileira de abacaxi é, em sua maioria, destinada ao mercado interno, mas o aumento do consumo de abacaxi no mercado europeu tem levado empresas nacionais a traçar planos para investir em exportações.

Apesar de se ter no Brasil grande oferta de frutas, ainda se verifica grandes perdas, destas, cerca de 20 a 50 % dependendo do produto, quer seja no campo, durante o processamento ou na comercialização. A qualidade das frutas depende, em grande parte, da tecnologia utilizada na colheita e pós-colheita. Os métodos empregados nestas duas fases não melhoram a qualidade da fruta, mas retardam os processos de senescência e decomposição, garantindo melhor conservação e, consequentemente, oferecendo um tempo mais prolongado para a comercialização (SILVA, 2000).

A qualidade e a segurança microbiológica devem ser consideradas como prioridade devido à intensa manipulação durante as etapas de processamento. O aumento na taxa de deterioração do fruto é decorrente da transferência do micro biota da casca para a polpa, onde microorganismos encontram condições favoráveis ao seu crescimento. Várias técnicas têm sido empregadas para minimizar as perdas pós-colheita, dentre estas se destaca a desidratação de frutas (VELIC et al., 2003).

Não há registros sobre a origem da técnica de desidratação, mas sabe-se que os primeiros grandes impulsos ao desenvolvimento da indústria de legumes e hortaliças desidratados ocorreram durante as grandes guerras mundiais.

A secagem é um processo de transferência de energia e massa entre o produto e o ar, em que um fluxo de ar aquecido passa através da camada do produto evaporando a água existente. Este processo pode envolver três meios de transferência de calor: convecção, condução e radiação. A transferência de calor por convecção é o meio utilizado em grande escala na secagem comercial que consiste na migração de umidade do interior para a superfície do produto, de onde se evapora para o ambiente (AKYILDIZ et al., 2004).

As vantagens de se utilizar o processo de secagem são várias, desde a facilidade na conservação do produto até a estabilidade dos componentes aromáticos à temperatura ambiente por longos períodos de tempo. Outras vantagens são: a proteção contra degradação enzimática e oxidativa, redução do seu peso, dispensa de refrigeração durante o transporte e armazenagem, disponibilidade do produto durante qualquer época do ano e agregação de valor ao produto (DOYMAZ, 2004).

A secagem é um processo que deve ser previsto, dimensionado e planejado. Para qualquer projetista ou pesquisador é útil a utilização de um programa que permita a simulação deste processo de forma a predizer, de acordo com as condições de uma região, o melhor tipo de secador a ser usado e as condições de secagem, bem como o tempo necessário para realizá-la (CAVALCANTI MATA et al., 1999). Os programas de simulação objetivam a redução do tempo e de gastos no processo de secagem, sendo necessário o conhecimento do processo físico e o modelo matemático correspondente e assim o comportamento das variáveis no processo (LEITE et al., 2005).

De acordo com o exposto, objetivou-se neste trabalho o estudo da cinética de secagem de abacaxi em secador de leito fixo sob a influência das temperaturas 60, 65 e 70 °C e as velocidades do ar de secagem 0.50, 0.75 e 1,00 m s^{-1} . Os objetivos específicos são:

1. A avaliação dos parâmetros qualitativos atividade de água (aw), sólidos solúveis totais (SST), acidez total titulável (ATT) e potencial hidrogeniônico (pH) para o abacaxi in natura e desidratado;

2. O estudo da cinética de secagem de abacaxi;
3. O desenvolvimento de um modelo de simulação do processo de secagem de abacaxi em fatias, utilizando um secador de leito fixo, validando-o por meio da comparação de resultados simulados com os de testes experimentais;
4. O desenvolvimento de um programa computacional, o qual poderá ser utilizado para prever os resultados relacionados às condições em que a secagem será realizada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKYILDIZ, A., AKSAY, S., BENLI, H., KIROGLU, F. FENERCIOGLU, H. Determination of changes in some characteristics of persimmon during dehydration at different temperatures. **Journal of Food Engineering**. 65:95-99. 2004.

CAVALCANTI MATA, M.E.R.M., DANTAS, L.A., BRAGA, M.E.D. Programa computacional para secagem de grãos. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**. Campina Grande, v.1, n.1, 21-26, 1999.

CAVALCANTI, J.S.B. Globalização e agricultura: processos sociais e perspectivas teóricas. In: Estudos de Sociologia. Recife: **Revista do Programa de Pós-Graduação em Sociologia da UFPE**. v.1, n.2, p.105-118, jul/dez. 1995

DOYMAZ, I. Effect of dipping treatment on air drying of plums. **Journal of Food Engineering**. 64:465-470, 2004

FAO 2006. Food And Agriculture Organization Of The United Nations. Summary of Food and Agricultural Statistics. Disponível em http://www.fao.org, acessado em 10 de Junho de 2006.

IBGE 2006. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Indicador Agropecuário: Produção Agrícola. Disponível em http://www.ibge.gov.br, acessado em 10 de Junho de 2006.

LEITE, J.C.A., SOUSA, R.F.D., SILVA, A.S., GOUVEIA, J.P.G. SILVA, M.M. SOUSA, A.G. Simulação de Secagem de milho (*Zea mays* L.) utilizando o modelo de Thompson. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**. v.5, n.2, 2005, 11p.

RUGGIERO, C. **Produção e mercado de frutas desidratadas**. In: www.todafruta.com.br 2004.

SILVA, J.S. **Secagem e armazenagem de produtos agrícolas**. Viçosa, Aprenda Fácil, 2000. 502p.

VELIC, D., PLANINIC, S. VILIC, M. Influence of airflow velocity on kinetics of convection apple drying. **Journal of Food Engineering**. 64:97-102, 2003.

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO ABACAXI "IN NATURA" E APÓS A SECAGEM

RESUMO: O presente trabalho teve por finalidade avaliar a qualidade do abacaxi "in natura" e após a secagem. Neste sentido foram realizados testes de atividade da água (aw), potencial hidrogeniônico (pH), acidez total titulável (ATT), sólidos solúveis totais (SST) e cor. Estudou-se a influência das temperaturas do ar de secagem de 60, 65 e 70 ^{o}C e velocidades do ar de 0,5, 0,75 e 1,00 m s^{-1}. Analisaram-se os efeitos da temperatura, assim como da velocidade do ar de secagem e também da interação destes sobre a qualidade do abacaxi "in natura" e após a secagem. Os resultados indicaram que o produto está seguro contra o ataque de microorganismos, pois apesar do pH apresentar valores mínimos para o desenvolvimento destes, o decréscimo na atividade da água proporcionou a integridade do produto. O decréscimo da acidez e aumento dos sólidos solúveis totais e da relação SST/ATT proporcionou o sabor mais adocicado para o abacaxi após a secagem. O produto secado à temperatura de 65 °C e velocidade de 1,00 m s^{-1} apresentou-se com sabor mais adocicado que os demais. Em relação à cor evidenciou-se o escurecimento do produto em todos os tratamentos realizados no experimento, sendo o produto secado à temperatura de 60 °C apresentou-se com o menor índice de escurecimento, independente da velocidade do ar de secagem.

PALAVRAS-CHAVE: abacaxi, secagem-abacaxi, qualidade-abacaxi.

PINEAPPLE QUALITY EVALUATION "IN NATURA" AND AFTER DRYING

ABSTRACT: The present study aimed at evaluating the pineapple quality "in natura" and after drying. For this, water activity (aw), hydrogenised potential (pH); titled acidity (ATT), total soluble solids (SST) and color were tested. The drying air temperatures of 60, 65 and 70 ^{o}C influences and 0,50, 0.75 and 1.00 m s^{-1} air speed were studied. The temperature effects, as well as the drying air speed and interaction of these over the pineapple "in natura" and after drying quality were analyzed. The results showed that the product is safe against the microorganism's attacks, because, although the pH shows minimum values for these developments, the decrease in the water activity allows the providing of the product integrity. The acidity decrease and the total soluble solids and the SST/ATT relation provided a more sweetened flavor to the pineapple after drying. The product dried at a 65 ^{o}C temperature and at a 1,00 m s^{-1} speed showed a more sweetened flavor than the others. In relation to the color, a product darkening in all the treatments used in the experiment was seen, and the product dried at a 60 ^{o}C temperature showed the smallest darkening index, independent of the drying air speed.

KEY WORDS: pineapple, pineapple-drying, pineapple-quality.

INTRODUÇÃO

A qualidade das frutas corresponde ao conjunto de atributos ou propriedades que os tornam apreciados como alimentos. Os atributos de qualidade dizem respeito à aparência, sabor, aroma, textura e valor nutritivo do produto, os quais estão relacionados com características físicas e químicas dos frutos.

O sabor e o aroma característicos do abacaxi são atribuídos à presença e aos teores de diversos constituintes químicos, destacando entre eles os açúcares e os ácidos responsáveis pelo sabor, e compostos voláteis associados ao aroma. As vitaminas e os minerais estão relacionados com o valor nutritivo, sobressaindo o ácido ascórbico (vitamina C) e o potássio (THÉ et al., 2003). Dos açúcares, sobressai a sacarose, com teores variando de 5,9 a 12,0 %, o que representa, nos frutos maduros, 66 % dos açúcares totais em média. Destacam-se também, a glicose e a frutose, com valores nas faixas de 1,0 a 3,2 % e 0,6 a 2,3 %, respectivamente (SARZI e DURIGAN, 2002).

Os teores de açúcares normalmente representados pela porcentagem de sólidos solúveis totais ou ^{o}Brix são variáveis entre cultivares e em uma mesma cultivar. Os principais ácidos responsáveis pela acidez são o cítrico e o málico, os quais contribuem respectivamente com 80 a 100 % da acidez total. A acidez total titulável total geralmente varia de 0,6 a 1,6 % e é expressa em porcentagem de ácido cítrico, enquanto o pH da polpa se enquadra na faixa de 3,7 a 3,9 (SILVA et al., 2003).

GRIZOTTO et al., 2005 e SARZI e DURIGAN, 2002 encontraram valores no abacaxi "in natura" para os sólidos solúveis totais (^{o}BRIX) de 13,7 ± 0,88, o teor de acidez total titulável se encontrava em torno de 0,64 ± 0,08g de ácido cítrico.100 g de suco^{-1} , e a comprovação do seu sabor doce SST/ATT de 22,38±3,93 e apresentar um adequado pH de 3,8 ± 0,06. Em relação à cor GRIZOTTO et al., 2005 encontrou valores de L*, 43,9 ± 1, de a*, -3,9 ± 0,0, de b*, +14,7 ± 0,0.

A relação entre sólidos solúveis totais e acidez indica a maturação do fruto sendo um critério de qualidade. A coloração da casca também está estritamente relacionada à maturação dos frutos e às condições climáticas durante o período de cultivo (THÉ et al., 2001).

Das características que dependem do aspecto físico das frutas, a cor tem grande importância econômica e interfere decisivamente no processo de comercialização do produto, pois dela dependerá a aceitação ou rejeição pelo comprador. Os carotenóides são os responsáveis pela coloração amarela da polpa de algumas cultivares de abacaxi. Tanto a aparência da polpa quanto as suas características de sabor e aroma podem ser severamente comprometidas pelo escurecimento interno e por infecções microbianas além das condições de processamento do produto, secagem, condições de armazenamento, envelhecimento do produto entre outros. (GONÇALVES e CARVALHO, 2000).

As frutas são perecíveis por apresentarem atividade metabólica elevada, notadamente após a colheita, conduzindo aos processos de deterioração Devido às diversas transformações das características físicas e químicas que ocorrem após a colheita, é necessário que o processamento seja realizado o mais rápido possível e de forma satisfatória, visando impedir, ou reduzir ao mínimo, as possíveis perdas pós-colheita (MOTA, 2005).

Após a colheita, a fruta continua o processo de respiração sendo este o principal processo fisiológico. Assim, as frutas têm vida independente e utilizam suas próprias reservas de substratos, com conseqüente diminuição progressiva nas reservas de matéria seca acumulada. A respiração resulta em modificações profundas na composição química do fruto, modificações essas que podem ser altamente indesejáveis sob o ponto de vista da qualidade (SATO et al., 2004).

A manutenção da qualidade no processamento das frutas por meio de um preparo cuidadoso e da aplicação de tecnologias adequadas deve seguir técnicas que levem em consideração que estas apresentam uma alta atividade de água, geralmente acima de 0,95. Os prejuízos originados devido à atividade de água podem ser intensificados, se não forem empregadas técnicas eficientes no processamento pós-colheita principalmente pela infestação de microorganismos, responsáveis pela redução da qualidade do produto (GRIZOTTO et al., 2005).

A conservação pela secagem baseia-se no fato de que tanto os microrganismos como as enzimas e todo mecanismo metabólico necessitam de água para suas atividades. Com a redução da quantidade de água disponível, até níveis seguros para armazenagem, conseqüentemente será reduzida a velocidade das reações químicas no produto, bem como o desenvolvimento de microrganismos (SOUZA NETO et al., 2005).

A secagem pode ser definida como um processo simultâneo de transferência de calor e massa entre o produto e o ar de secagem, que consiste na remoção do excesso de umidade contida no produto por meio de evaporação, geralmente causada por convecção forçada de ar aquecido, de modo a permitir a manutenção de sua qualidade durante o armazenamento (PARK et al., 2001) .São vários os fatores que influenciam a secagem de frutas: método de secagem, temperatura e umidade relativa do ar de secagem, velocidade do ar e tempo de secagem (NIHJHUIS et al., citado por CANO-CHAUCA et al., 2004). A falta do controle destes fatores pode comprometer a qualidade do produto final.

Devido aos problemas descritos anteriormente este trabalho tem como objetivo analisar os parâmetros atividade da água (aw), potencial hidrogeniônico (pH), acidez total titulável, sólidos solúveis totais e cor relacionada à qualidade do abacaxi "in natura" e do abacaxi após a secagem a várias temperaturas e velocidades do ar de secagem.

MATERIAL E MÉTODOS

Condições gerais

O trabalho foi realizado no Laboratório de Pré-processamento e Armazenamento de Produtos Vegetais do Departamento de Engenharia Agrícola e as análises laboratoriais no Laboratório de Pigmentos Naturais e Secagem do Departamento de Tecnologia de Alimentos, ambos localizados na Universidade Federal de Viçosa – UFV.

Utilizaram-se frutos, da variedade 'pérola', proveniente da CEASA de Belo Horizonte. O teor inicial de água dos frutos foi de aproximadamente, 86 % b.u.

As etapas de processamento foram realizadas de acordo com o cronograma da Figura 1 (CORNEJO et al., 2003).

Efetuou-se a pré-lavagem dos frutos com água potável para remover sujeiras e outros materiais estranhos. A carga microbiana das cascas foi reduzida imergindo as frutas em água clorada de concentração de 10 ppm de cloro, por dez minutos. O descascamento foi feito manualmente.

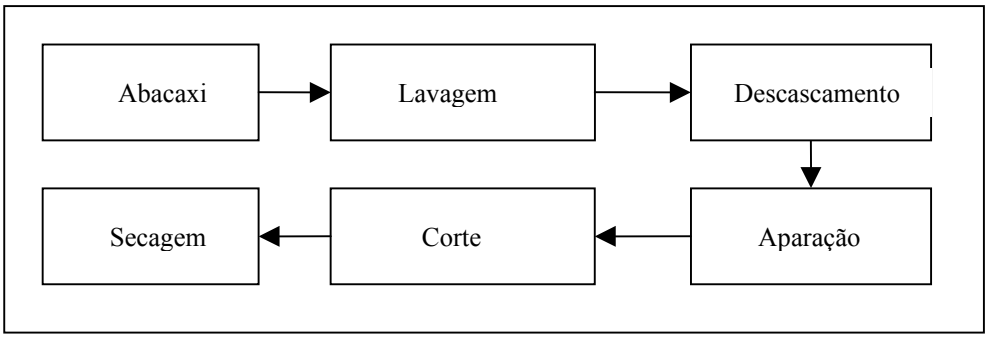


Figura 1: Etapas do processo de secagem de abacaxi.

Eliminaram-se as pontas, outras extremidades e possíveis fragmentos do produto proveniente da etapa anterior. Os frutos foram descascados, retirado o miolo, sendo metade dos mesmos cortado em "rodelas" com aproximadamente 0,01 m de espessura e estas cortadas em "metades" longitudinalmente.

Determinou-se, após o corte, o teor de água do produto em estufa, a 105 °C, ± 2 °C pela técnica gravimétrica baseada na perda de peso das amostras até peso constante, conforme as Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz (1985).

Secagem

Para a secagem utilizou-se um secador cilíndrico de bancada, leito fixo, com controle automático da temperatura do ar de secagem, composto por um ventilador de 372,85 W, resistências elétricas e bandeja de 0,335 m de diâmetro, conforme a Figura 2. O ar foi movimentado perpendicularmente ao sentido da bandeja. Reduziu-se, por meio da secagem com ar aquecido e circulação forçada até um teor de água final de aproximadamente 20 % b.u.

Estudou-se a influência das temperaturas do ar de secagem, as quais foram de 60, 65 e 70 °C e a velocidade do ar de secagem de 0,5 0,75 e 1,00 m s^{-1} conforme descrito na Tabela 1. Utilizaram-se 03 testes para cada tratamento.

A velocidade do ar de saída no secador foi mensurada por meio de um termoanemômetro, com o sistema de aquecimento de ar desligado. Na saída do ar de exaustão, cujo diâmetro era de 0,335 m de comprimento, foi dividida em 12 pontos de leitura, conforme Figura 3. O peso do produto foi mensurado em uma balança digital em intervalos de trinta minutos.

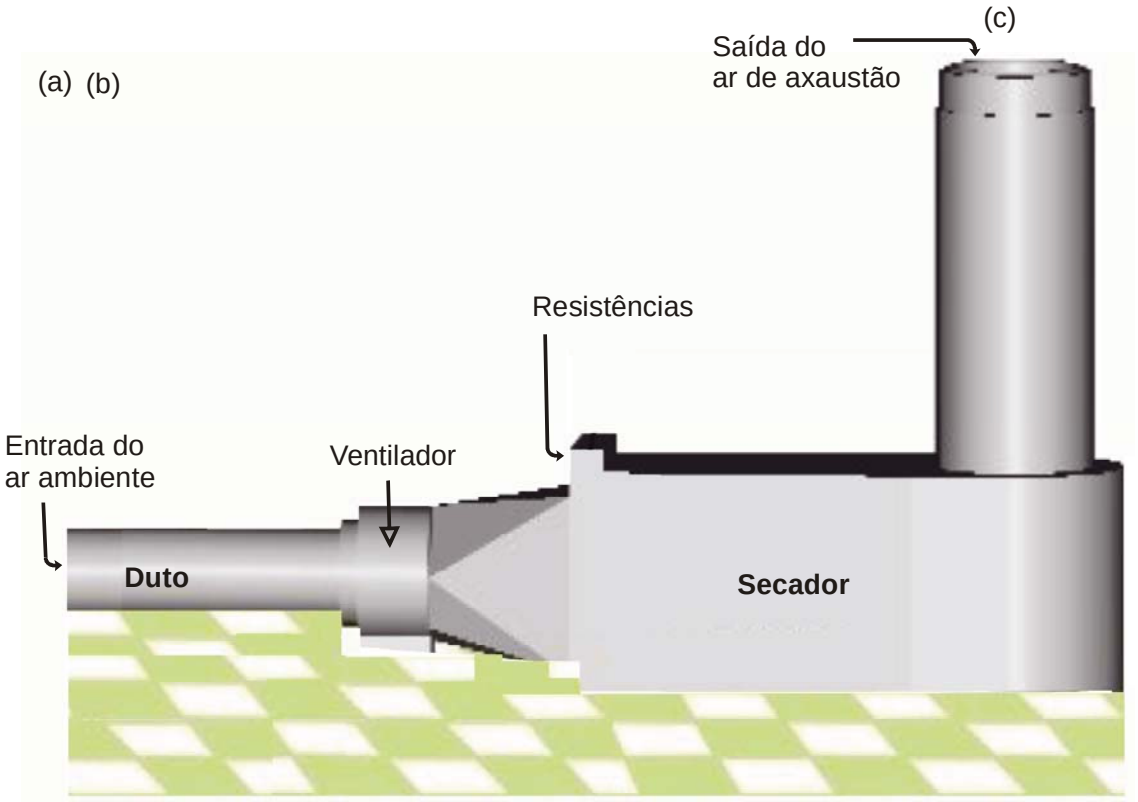


Figura 2: Vista lateral do secador utilizado na secagem de abacaxi.

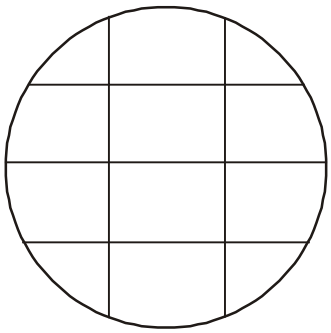


Figura 3: Vista da saída do ar de exaustão reticulada para mensurar a velocidade do ar.

Mensurou-se a temperatura do ar ambiente, temperatura de bulbo seco e bulbo úmido e do ar de exaustão nos pontos a b e c respectivamente por meio de termopares tipo T, conforme a Figura 2. Para mensurar a temperatura de bulbo úmido utilizou-se um pano de algodão embebido em água destilada na extremidade do termopar, o qual foi ventilado a uma velocidade de 5 m s^{-1}.

Para o monitoramento da temperatura dos termopares, foi utilizado um sistema automático de aquisição de dados, onde os dados de leitura foram visualizados e salvos em um computador em intervalos regulares de um minuto.

Análises laboratoriais

Os parâmetros qualitativos foram realizados nas frutas "in natura" e após a secagem.

O pH foi determinado por potenciometria, utilizando um pHmetro Digimed DM 20, conforme as Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz (1985).

O teor de sólidos solúveis totais foi determinado por refratometria, à temperatura ambiente, utilizando-se um refratômetro manual marca ATAGO N1.

A atividade de água (Aw) foi determinada a 20 °C por meio de um instrumento denominado AQUALAB, modelo CX2.

A acidez total titulável (ATT) foi determinada utilizando-se 5 g da amostra, triturada em 100 mL de água destilada e submetida à titulação com uma solução de NAOH 0,1 N, utilizando fenolftaleína como indicador. O resultado foi expresso em ácido cítrico conforme as Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz (1985).

Tabela 1: Disposição dos tratamentos em relação à temperatura e à velocidade do ar de secagem

Tratamento	Temperatura (^oC)	Velocidade ($m\ s^{-1}$)
1	70	1,00
2	70	0,75
3	70	0,50
4	65	1,00
5	65	0,75
6	65	0,50
7	60	1,00
8	60	0,75
9	60	0,50

Avaliou-se a cor do produto utilizando um colorímetro modelo ColorQuest II Hunter Lab conectado a um computador provido do sistema software Universal. Para o cálculo das coordenadas de cor, estabeleceu-se o iluminante D65 (luz do dia) e o ângulo de 10 ° para o observador e a escala do sistema de cor CIE Lab. Mediram-se as coordenadas: L*, que representa a luminosidade numa escala de 0 (preto) a 100 (branco); a*, que representa uma escala de tonalidades de vermelho (0+a) a verde (0–a) e b*, que representa uma escala de tonalidades de amarelo (0+b) a azul (0–b). Juntas a e b apresentam resultados equivalentes aos obtidos com matiz e croma (saturação) do sistema Munsell de cor.

O ângulo de matiz e índice de saturação (croma) foi determinado de acordo com LITTLE (1975), pelas equações 1 e 2:

$$\theta_s = \tan^{-1}\frac{b}{a} \qquad 01$$

em que

θ_s = ângulo de matiz; a = coordenada a, e b = coordenada b.

$$croma = \left(a^2 + b^2\right)^{\frac{1}{2}} \qquad 02$$

em que

croma = Índice de saturação.

Os dados foram interpretados estatisticamente, utilizando-se o programa estatístico SANEST, por análise de variância e comparação de médias pelo teste de Tukey, a de 5 % de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 encontra-se o resumo da análise de variância dos resultados obtidos dos parâmetros sólidos solúveis totais (SST), pH, acidez e atividade de água, para o abacaxi “pérola”, submetidos a diferentes condições de temperatura e velocidade do ar de secagem. O programa estatístico utilizado para as análises

estatísticas foi o SAEG. Os testes estatísticos complementares foram utilizados quando houve efeito significativo entre os fatores estudados na Tabela 2 e suas médias foram comparadas por meio dos testes de Tukey, a 5 % de probabilidade.

Observa-se na Tabela 2 que para a fonte de variação "in natura" e desidratado a análise de variância indicou haver influência ao nível de significância de 1 % em todas as análises estudadas sólidos solúveis totais (SST), acidez total titulável (ATT), atividade de água (aw) e a relação SST/ATT, com exceção do pH.

Na interação entre as variáveis "in natura" e desidratado versus temperatura indicou haver influência nas análises dos sólidos solúveis totais (5 %), atividade de água (5 %), e a relação SST/ATT (1 %), exceto para a acidez total titulável e pH.

Na interação entre as variáveis "in natura" e desidratado versus velocidade indicou haver influência somente na análise do pH (1 %), sendo que esta interação não influenciou os demais fatores.

Tabela 2: Resumo da análise de variância dos resultados dos sólidos solúveis totais (SST), pH, acidez total titulável (ATT) e atividade de água e SST / ATT, para o abacaxi "pérola", submetidos a diferentes temperaturas e velocidades do ar de secagem

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio				
		SST	pH	Acidez total titulável	Atividade de água	SST / ATT
Total	53					
Total de Redução	19	21,135 *	$0,513 \times 10^{-1}$ *	4,903 *	$0,640 \times 10^{-1}$ *	71,859 *
Velocidade	2	0,519 $^{n.s}$	$0,275 \times 10^{-1}$ *	10,704 *	$0,959 \times 10^{-4}$ *	14,489 *
Erro (A)	6	0,278	$0,331 \times 10^{-3}$	0,103	$0,143 \times 10^{-4}$	1,189
Temperatura	2	0,296 $^{n.s}$	0,114 *	11,212 *	$0,284 \times 10^{-3}$ *	96,385 *
Velocidade x Temperatura	4	1,269 *	0,142 *	1,215 **	$0,201 \times 10^{-3}$ *	33,854 *
In natura e Desidratado	1	389,352 *	$0,119 \times 10^{-3}$ $^{n.s}$	43,001 *	1,213 *	979,496 *
In natura e Desidratado x Temperatura	2	1,407 **	$0,159 \times 10^{-1}$ $^{n.s}$	0,123 $^{n.s}$	$0,917 \times 10^{-4}$ **	7,784 *
In natura e Desidratado x Velocidade	2	0,519 $^{n.s}$	$0,433 \times 10^{-1}$ *	0,301 $^{n.s}$	$0,431 \times 10^{-4}$ $^{n.s}$	2,979 $^{n.s}$
Resíduo	34	0,322	$0,702 \times 10^{-2}$	0,324	$0,225 \times 10^{-4}$	1,448
Média Geral		19,093	3,816	10,255	0,773	18,596
C.V. (%)		2,974	2,195	5,554	0,614	6,471

*, ** e ns: Significativos a 1 e 5 % de probabilidade, pelo teste F e não-significativo, respectivamente.

As propriedades do produto “in natura" apresentaram valores dentro da faixa pesquisada por vários autores. A atividade de água, pH e a acidez total titulável do produto in natura apresentaram valores próximos aos encontrados pelos autores REINHARDT et al., 2004 e GRIZOTTO et al., 2005. Os valores para os sólidos solúveis totais se mostraram superiores aos encontrados por estes autores.

Sólidos solúveis totais (SST) , acidez total titulável (ATT) e SST/ATT

Na Tabela 3 estão apresentados os valores médios dos sólidos solúveis totais (SST), acidez total titulável (ATT) e a relação SST/ATT para a interação produto “in natura” versus produto desidratado.

Pode-se verificar que em cada tratamento as médias dos sólidos solúveis totais (SST) aumentaram e houve um decréscimo na acidez total titulável (ATT) no produto após a secagem. A acidez total titulável diminuiu em relação ao abacaxi “in natura” e com o aumento dos sólidos solúveis totais o valor da relação SST/ATT aumentou consideravelmente, tornando o abacaxi bem mais doce após a secagem.

Tabela 3: Teste de Tukey para as médias da variável sólidos solúveis totais (SST), °Brix, acidez total titulável (ATT) e SST/ATT do abacaxi “pérola” para a interação produto *in natura* e desidratado

Tratamentos	Sólidos solúveis totais (°Brix)		Acidez total titulável		SST/ATT	
	in natura	Desidratado	*in natura*	Desidratado	in natura	Desidratado
1	17,00 B	21,67 A	13,65 A	10,10 B	12,46 B	21,45 A
2	16,00 B	20,67 A	11,27 A	9,86 B	14,91 B	20,95 A
3	16,67 B	21,67 A	10,74 A	9,94 B	15,53 B	21,81 A
4	16,00 B	22,67 A	11,49 A	10,45 B	13,93 B	21,69 A
5	16,67 B	22,33 A	11,34 A	9,67 B	14,69 B	23,11 A
6	16,00 B	21,33 A	16,90 A	11,76 B	9,47 B	18,14 A
7	16,33 B	22,00 A	11,18 A	9,83 B	14,62 B	22,37 A
8	16,00 B	22,00 A	10,30 A	7,70 B	15,55 B	28,74 A
9	17,00 B	21,67 A	9,18 A	7,89 B	18,58 B	27,45 A

As médias seguidas pela mesma letra, não diferem estatisticamente, a 5 % de probabilidade, pelo teste de Tukey.

O aumento dos sólidos solúveis totais após a secagem se deve à remoção de água, a qual promove uma concentração de solutos de modo que estes componentes estão presentes em maiores quantidades por unidade de peso no alimento desidratado do que no alimento fresco.

A Tabela 4 contém a influência que temperatura do ar de secagem exerce no produto "in natura"e desidratado para o teor de sólidos solúveis totais.

Observa-se que para todas as temperaturas as médias dos sólidos solúveis totais (SST) diferiram significativamente quando comparado o produto "in natura" e desidratado, tendo um incremento nas médias dos sólidos solúveis totais (SST) após a secagem, ou seja, a temperatura influenciou nos resultados destas análises após a secagem. A maior e a menor média de sólidos solúveis totais (SST) foram obtidas para as temperaturas do ar de 65 e 70 °C, respectivamente.

Tabela 4: Valores médios da variável Sólidos Solúveis Totais (SST), °Brix e SST/ATT do abacaxi "pérola" *in natura* e desidratado para em função do fator temperatura do ar de secagem

Temperatura do ar de secagem (°C)	**Sólidos solúveis totais**		**SST/ATT**	
	In natura	**Desidratado**	***in natura***	**Desidratado**
60	16,44 B	21,89 A	16,25 B	26,19 A
65	16,22 B	22,11 A	12,70 B	20,98 A
70	16,56 B	21,33 A	14,06 B	21,40 A

As médias seguidas pela mesma letra, não diferem estatisticamente, a 5 % de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Como a relação SST/ATT indica o estágio de maturação do fruto, pode-se observar que os frutos utilizados para o teste na temperatura de 60 °C se apresentou num estágio de maturação mais elevado que os demais seguido pelos frutos utilizados na temperatura de 70 °C.

Atividade de água (A_w) e potencial hidrogeniônico (pH)

Na Tabela 5 estão apresentados os valores médios da atividade de água (aw) e potencial hidrogeniônico (pH) para as diferentes velocidades do ar de secagem.

Para cada tratamento as médias das atividades de água diminuíram após a secagem. A temperatura e a velocidade do ar de secagem influenciaram conjuntamente no valor médio do pH do abacaxi "pérola", após a secagem.

O pH da fruta desidratada não alterou em relação ao abacaxi "in natura". de acordo com McCARTHY et al. citado por REIS et al. (2003) a concentração de ácido necessária para alterar o pH de um alimento depende das concentrações de sólido solúveis, proteínas e sais, capacidade tamponante desses componentes e do grau de ionização do ácido.

Na Tabela 6 estão apresentadas as médias de pH para a interação produto "in natura" e desidratado versus velocidade do ar de secagem.

Tabela 5: Teste de Tukey para as médias da variável atividade de água (A_w) e pH (potencial hidrogeniônico), do abacaxi "pérola" para a interação produto *in natura* e desidratado

Tratamento	Atividade de água		pH	
	In natura	**Desidratado**	***In natura***	**Desidratado**
1	0,90 A	0,62 B	3,74 A	3,62 A
2	0,93 A	0,62 B	3,80 A	3,86 A
3	0,92 A	0,63 B	3,70 A	3,80 A
4	0,92 A	0,62 B	3,90 A	3,97 A
5	0,92 A	0,62 B	3,93 A	3,52 A
6	0,92 A	0,62 B	3,62 A	3,73 A
7	0,93 A	0,63 B	3,83 A	3,92 A
8	0,93 A	0,63 B	3,74 A	3,77 A
9	0,93 A	0,62 B	4,10 A	4,10 A

As médias seguidas pela mesma letra, não diferem estatisticamente, a 5 % de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Tabela 6: Valores médios da variável pH do abacaxi "pérola" *in natura* e após a secagem para em função do fator velocidade do ar de secagem

Velocidade do ar de secagem ($m\ s^{-1}$)	pH	
	In natura	Desidratado
0,50	3,80 B	3,89 A
0,75	3,83 A	3,72 B
1,00	3,83 A	3,84 A

As médias seguidas pela mesma letra, não diferem estatisticamente, a 5 % de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Na Tabela 7 estão apresentadas os resultados médios para atividade de água para a interação produto in natura e após a secagem versus temperatura do ar de secagem.

Tabela 7: Valores médios da variável atividade de água do abacaxi "pérola" *in natura* e após a secagem em função do fator temperatura do ar de secagem

Temperatura do ar de secagem (°C)	Atividade de água (a_w)	
	In natura	Após a secagem
60	0,93 A	0,63 B
65	0,92 A	0,62 B
70	0,92 A	0,62 B

As médias seguidas pela mesma letra, não diferem estatisticamente, a 5 % de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Observa-se que para as diferentes temperaturas do ar de secagem, 60, 65 e 70 °C não houve influência significativa no valor médio da atividade de água do abacaxi "pérola", após a secagem, no entanto, houve diferença significativa, no valor médio da atividade de água do produto "in natura" quando comparado ao produto após a secagem, ou seja, o fator temperatura do ar de secagem influenciou na atividade de água do produto.

O abacaxi "in natura" possui uma atividade da água muito elevada, correspondendo a um teor de água de 86 %, o que favorece o desenvolvimento de bactérias, leveduras e bolores, por isso as frutas são denominadas de produtos deterioráveis. Após a secagem a atividade de água reduziu de 0,95 para 0,63, o que caracteriza um alimento de baixa atividade de água, sendo por isso microbiologicamente estável e portanto adequada para a preservação da fruta desidratada.

Cor

A Tabela 8 contém o resumo da análise de variância dos valores obtidos da leitura das coordenadas L*, Matiz e Croma, do sistema HUNTER de cor, para o abacaxi "pérola", submetidos a diferentes condições de temperatura e velocidade do ar de secagem.

Tabela 8: Resumo da análise de variância dos valores obtidos para a coordenada L*, Matiz e Croma, para o abacaxi "pérola", submetidos a diferentes temperaturas e velocidades do ar de secagem

Fonte de Variação	GL	Quadrado médio		
		L*	Matiz	Croma
Total	53			
Total de Redução	19	77,868 *	147,941 *	41,202 *
Velocidade	2	21,263 *	0,220 n.s	12,795 *
Erro (A)	6	2,435	1,773	0,646
Temperatura	2	19,213 n.s	0,759 n.s	8,185 **
Velocidade x Temperatura	4	33,183 **	5,934 n.s	10,317 *
In natura e Desidratado	1	1161,392 *	2754,238 *	686,729 *
In natura e Desidratado x Temperatura	2	38,923 **	8,906 **	3,960 n.s
In natura e Desidratado x Velocidade	2	5,979 n.s	1,245 n.s	0,547 n.s
Resíduo	34	8,958	2,379	2,377
Média Geral		68,994	76,893	23,759
C.V. (%)		4,338	2,006	6,490

* significativo a 1 % de probabilidade, pelo teste F.
** significativo a 5 % de probabilidade, pelo teste F.
n.s. não significativo.

Observou-se haver influência (Tabela 8), a 1 % de probabilidade, pelo teste F, no atributo L* pela velocidade do ar de secagem e na relação produto "in natura" e desidratado. Nas interações velocidade do ar de secagem versus temperatura do ar de secagem e produto in natura e pós-secagem versus temperatura do ar de secagem houve influência, a 5 % de probabilidade, pelo teste F, no atributo L*.

Houve influência, a 1 % de probabilidade, pelo teste F, no valor da matiz para o produto "in natura" e desidratado. Na interação produto "in natura" e desidratado versus temperatura do ar de secagem houve influência, a 5 % de probabilidade, pelo teste F, no atributo Matiz.

Houve influência a 1 % de probabilidade, pelo teste F, no valor de croma para a velocidade do ar de secagem, interação velocidade do ar de secagem versus temperatura do ar de secagem e na relação produto "in natura" e pós-secagem. Uma influência, a 5 % de probabilidade, pelo teste F, foi observada para a temperatura do ar de secagem, no atributo Croma do abacaxi.

Na Tabela 9 estão apresentados os valores médios do atributo L* do abacaxi "pérola" para a interação produto "in natura" versus produto desidratado.

Tabela 9: Teste de Tukey para as médias da coordenada L*, para o abacaxi "pérola" para a interação produto *in natura* e Após a secagem

Tratamento	Coordenada L*		Matiz		Croma	
	In natura	**Desidratado**	***In natura***	**Desidratado**	***In natura***	**Desidratado**
1	74,26 A	62,80 B	82,65 A	68,88 B	22,31 B	28,19 A
2	71,44 A	65,48 B	83,52 A	69,55 B	20,51 B	30,26 A
3	73,30 A	70,55 A	85,05 A	70,32 B	19,12 B	26,83 A
4	74,90 A	69,44 B	82,20 A	72,02 B	22,05 B	26,79 A
5	74,66 A	63,29 B	84,12 A	69,73 B	18,76 B	27,87 A
6	71,98 A	62,98 B	84,29 A	70,02 B	18,10 B	26,94 A
7	75,40 A	64,69 B	86,62 A	69,46 B	16,75 B	26,65 A
8	74,79 A	60,74 B	84,75 A	68,92 B	23,21 B	26,91 A
9	71,96 A	59,24 B	83,11 A	68,85 B	20,92 B	25,49 A

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente a 5 % de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Para cada tratamento as médias do atributo L* diminuíram após a secagem, exceto no tratamento 3, que estatisticamente, pelo teste de Tukey não diferiu do produto "in natura". A temperatura e a velocidade do ar de secagem não influenciaram conjuntamente no valor médio do atributo L*, exceto no tratamento 3.

Para cada tratamento as médias do atributo Matiz diminuíram após a secagem. A temperatura e a velocidade do ar de secagem não influenciaram conjuntamente no valor médio do atributo Matiz do abacaxi "pérola", após a secagem.

Para cada tratamento as médias do atributo Croma aumentaram após a secagem. A temperatura e a velocidade do ar de secagem não influenciaram conjuntamente no valor médio do atributo Croma do abacaxi "pérola", após a secagem.

Na Tabela 10 estão apresentados os resultados médios para o atributo L*, ou seja, a luminosidade do abacaxi, para a interação produto "in natura" e desidratado versus temperatura do ar de secagem.

Observa-se, na Tabela 10, que para as diferentes temperaturas do ar de secagem, 60, 65 e 70 °C não houve influência significativa no valor médio do atributo L* do abacaxi desidratado, no entanto, houve influência significativa nas medias do atributo L* do produto "in natura" quando comparado ao produto desidratado. Observou-se que com o aumento da temperatura do ar de secagem aumentou-se também o valor médio do atributo L* no abacaxi. Estes resultados mostram que após a secagem houve escurecimento do produto para as três temperaturas estudadas, sendo que a menor média para este atributo foi para a temperatura do ar de secagem de 60 °C.

Tabela 10: Valores médios da variável coordenada L* do abacaxi "pérola" *in natura* e desidratado para em função do fator temperatura do ar de secagem

Temperatura do ar de secagem (°C)	Coordenada L*		Matiz	
	in natura	Desidratado	in natura	Desidratado
60	74,05 A	61,56 B	84,83 A	69,08 B
65	73,85 A	65,24 B	83,53 A	70,59 B
70	73,00 A	66,28 B	83,74 A	69,58 B

As médias seguidas pela mesma letra, não diferem estatisticamente, a 5 % de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Observa-se que para as diferentes temperaturas do ar de secagem, 60, 65 e 70 °C houve diferença significativa na media do atributo matiz do produto "in natura" quando comparado ao produto após a secagem.

As coordenadas de cor L*, a* e b* mostraram que o abacaxi escureceu após a secagem dando-lhe uma coloração entre o amarelo e vermelho conforme pode ser visto na Figura 4. Nesta escala, L* mede a luminosidade que varia de preto a branco, a* mede a variação de verde a vermelho e b*, indicando tonalidades de vermelho e amarelo, respectivamente. Os valores de a* e b* devem-se aos carotenóides encontrados no abacaxi, o que lhe confere a cor amarela.

A alteração da cor no abacaxi após a secagem pode ter uma relação com o aumento dos sólidos solúveis totais, o qual pode levar o produto ao processo de caramelização, além da degradação e oxidação dos carotenóides. REIS et al., 2003 estudou a avaliação dos atributos de qualidade envolvidos na desidratação de manga e verificou que após a secagem houve um decréscimo no teor de carotenóides totais em relação à manga "in natura". SATO, 2004 estudando a avaliação da cor em goiabas atribuiu o escurecimento do produto ao aumento dos teores de açúcares incorporados no produto durante o processamento.

Pode-se observar, na Figura 4, que as amostras antes da secagem se posicionam em pontos com um ângulo maior, ou seja, na tonalidade amarela. A posição das médias para o produto após a secagem localizou-se num ângulo menor no primeiro quadrante mostrando assim a tendência para uma tonalidade amarelo avermelhada. A coordenada L* é indicada pela sobreposição das amostras no gráfico da Figura 4.

A determinação das propriedades matiz, croma e coordenada L* conjuntamente indicou o escurecimento do abacaxi, efeito causado pela temperatura do ar de secagem.

Dentre os trabalhos de pesquisas sobre a secagem de frutas, poucos trabalhos foram encontrados sobre a secagem de abacaxi em leito fixo. Devido a este fato os valores aqui apresentados sobre os atributos atividade de água, sólidos solúveis totais, acidez total titulável e cor após a secagem podem ser considerados básicos para outros pesquisadores.

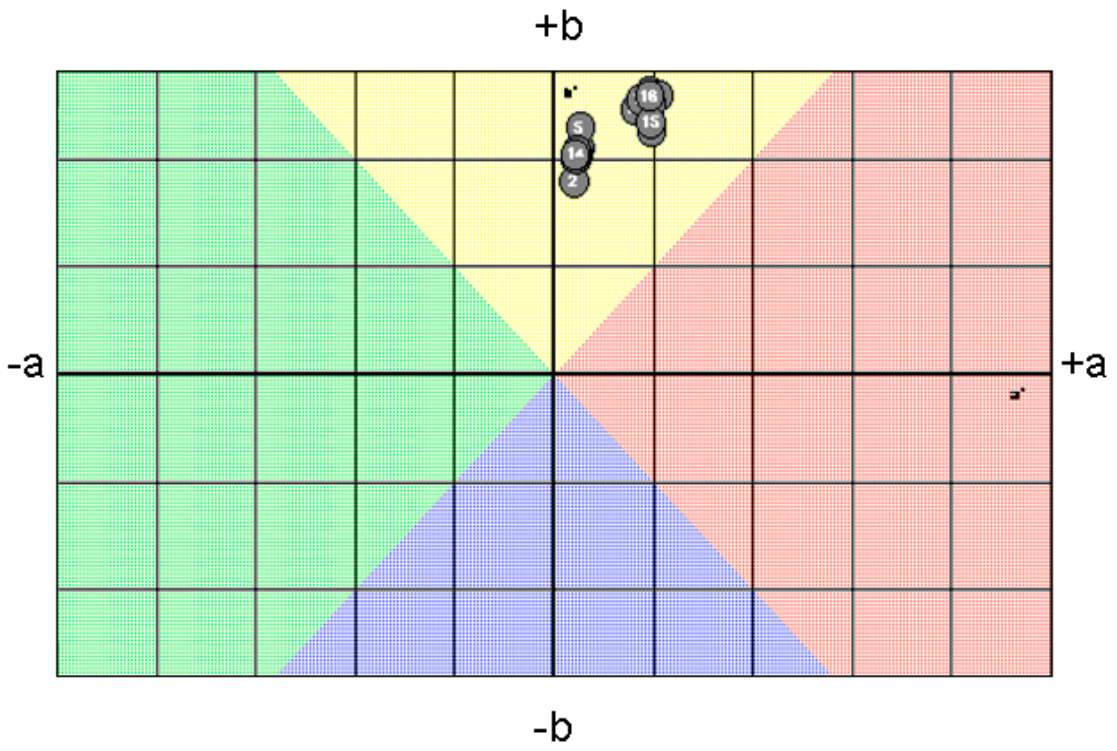


Figura 4: Posição das médias do abacaxi "in natura" e desidratado no sistema Munsell de cor.

CONCLUSÕES

1. No abacaxi, após a secagem, houve um decréscimo na atividade de água (aw) em todos os tratamentos, o que proporcionou a segurança do produto em relação ao desenvolvimento de microorganismos.

2. Os valores de pH no abacaxi, após a secagem, apresentaram-se como valores mínimos para o desenvolvimento de microorganismos.

3. Houve um incremento nos sólidos solúveis totais e na relação SST/ATT, evidenciando-se assim, um sabor mais doce no produto após a secagem em relação ao produto "in natura". O produto secado à temperatura de 65 °C e velocidade de 1,00 m s^{-1} apresentou-se com o sabor mais adocicado que os demais.

4. A secagem favoreceu o escurecimento do abacaxi, pois se verificou um incremento nos valores da luminosidade e croma e o decréscimo no valor do matiz nas médias de todos os tratamentos. O produto secado à temperatura de 60 °C apresentou-se com o menor índice de escurecimento, independentemente da velocidade do ar de secagem.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CANO-CHAUCA, M., RAMOS, A.M., STRINGHETA, P.C., MARQUES, J.A., SILVA, P.I. Curvas de Secagem e avaliação da atividade de água da banana passa. Curitiba: B. Ceppa, v.22, n.1, jan./jun., 2004.

CORNEJO. F., MACHADO, R., NOGUEIRA, R.I., WILBERG, V.C. **Frutas desidratadas: iniciando um pequeno grande negócio agroindustrial**. Brasília: EMBRAPA, 2003.

GONÇALVES, N.B., CARVALHO, V.D. Abacaxi pós-colheita: características da fruta. **Frutas do Brasil**. Brasília: EMBRAPA, 2000.

GRIZOTTO, R.K., AGUIRRE, J.M., MENEZES, H.C. Frutas estruturadas de umidade intermediária obtidas de polpas concentradas de abacaxi, manga e mamão. Campinas: Ciência e Tecnologia de Alimentos, v.25, n.4, out./dez., 2005.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz**: métodos químicos e físicos para análise de alimentos. 3.ed., São Paulo, v.1, 1985. 533p.

LITTLE, A.C. Off on a tangent. **Journal of Food Science**, n.40, p.410-411, 1975.

MOTA, R.V. Avaliação da qualidade da banana passa elaborada a partir de seis cultivares. Campinas: **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.25, n.3, p.560-563, jul./set., 2005.

PARK, K.J., MORENO, M.K., BROD, F.P.R. Estudo de secagem de pêra bartlett (Pyrus sp.) em fatias. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 21, n.3, p. 288-292, 2001.

REINHARDT, D. H. et al. Gradientes de qualidade em abacaxi 'pérola' em função do tamanho e do estádio de maturação do fruto. Comunicação Científica. **Revista Brasileira de Fruticultura**. V. 26, n. 3, p. 544-546, Dez. 2004

REIS, R.C., RAMOS, A.M., BERTOLDI, M.C. Avaliação da cor e de carotenóides totais de manga (*Mangífera indica* L. var. Tommy Atikins) desidratada durante o armazenamento. In: **V Simpósio Latino Americano de Ciência de Alimentos**, 2003. Campinas. V Simpósio Latino Americano de Ciência de Alimentos, 2003.

SARZI, B., DURIGAN, J.F. Avaliação física e química de produtos minimamente processados de abacaxi-'pérola'. Jaboticabal: Revista Brasileira de Fruticultura, v.24, n.2, p.333-337, agosto, 2002.

SATO, A.C.K., SANJINEZ-ARGANDONA, E.J., CUNHA, R.L. Avaliação das propriedades físicas, químicas e sensorial de goiabas em calda industrializadas. **Campinas: Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.24, n.4, p.550-555, out./dez., 2004.

SILVA, G.C., MAIA, G.A., SOUZA FILHO, M.S.M., FIGUEIREDO, R.W., FILGUEIRAS, H.AL.C., SOUZA, A.C.R. Efeito de diferentes concentrações de cloreto de cálcio na qualidade do abacaxi "pérola" minimamente processado. Jaboticabal: **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.25, n.2, p.216-219, Agosto, 2003.

SOUZA NETO, M.A., MAIA G.A., LIMA, J.R., FIGUEIREDO, R.W., SOUZA FILHO, M..S.M., LIMA, A.S. Desidratação osmótica de manga seguida de secagem convencional: avaliação das variáveis de processo. Lavras: **Ciênc. Agrotec**., v.29, n.5, p.1021-1028, set./out., 2005.

THÉ, P.M.P., CARVALHO, V.D., ABREU, C.M.P., NUNES, R.P., PINTO, N.A.V.D. Efeito da temperatura de armazenamento e do estádio de maturação sobre a composição química do abacaxi CV. *Smooth Cayenne* L.Lavras: **Ciênc. Agrotec**., v.25, n.2, p.356-363, mar./abr., 2001.

THÉ, P.M.P., GONÇALVES, N.B., NUNES, R.P., MORAIS, A.R., PINTO, N.A.V.D., FERNANDES, S.M., CARVALHO, V.D. Efeitos de tratamentos pós-colheita sobre fatores relacionados à qualidade de abacaxi CV. *Smooth Cayenne* L. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.9, n.2, p.163-170, abr./jun., 2003.

CINÉTICA DA SECAGEM DE ABACAXI EM LEITO FIXO

RESUMO: Neste trabalho foi estudada a cinética de secagem de abacaxi, cultivar pérola, em leito fixo, foram utilizadas as temperaturas do ar de secagem 60, 65 e 70 °C e velocidades do ar de secagem 0.5, 0.75, e 1 m s^{-1}. Observou-se por meio das curvas de secagem que a temperatura e a velocidade do ar exercem influência na taxa de secagem. Os tempos de secagem para atingir o valor aproximado do teor de água de 20 % b.u. para os tratamentos 70 °C -1,00 m s^{-1}, 70 °C -0,75 m s^{-1} e 70 °C -0,50 m s^{-1} foram respectivamente de 6,5; 7,62 e 11,22 horas. Os tempos de secagem para atingir o valor aproximado do teor de água de 20 % b.u. para os tratamentos 65 °C -1,00 m s^{-1}, 65 °C -0,75 m s^{-1} e 60 °C -0,50 m s^{-1} foram respectivamente de 8; 9,25 e 11,4 horas. Os tempos de secagem para atingir o valor aproximado do teor de água de 20 % b.u. para os tratamentos 60 °C -1,00 m s^{-1}, 60 °C -0,75 m s^{-1} e 60 °C -0,50 m s^{-1} foram respectivamente de 8,4; 9,5 e 12,25 horas. A Equação proposta por Lewis é válida para representar a razão de umidade em função do tempo para representar a cinética de secagem de abacaxi.

PALAVRAS-CHAVE: secagem- abacaxi, razão de umidade-abacaxi.

PINEAPPLE DRYING KINETICS IN A FIXED BED

ABSTRACT: In this study, the pineapple drying kinetics, pearl cultivate in a fixed bed, was studied; the drying air temperatures of 60, 65 and 70 ^{o}C and the 0,50, 0,75 and 1 m s^{-1} drying air speed were used. Through the drying curves it was observed that, the temperature and drying air exerts an influence over the drying tax. The drying times to achieve the approximated water content value of 20 % b.u. for the 70 ^{o}C – 1,00 m s^{-1}, 70 ^{o}C – 0,75 m $s^{-1}$and 70 ^{o}C – 0,50 m s^{-1} treatments were 6,5; 7,62 and 11,22 hours, respectively. The drying times to achieve the approximated water content value of 20 % b.u. for the 65 ^{o}C – 1,00 m s^{-1}, 65 ^{o}C – 0,75 m s^{-1}, and 60 ^{o}C – 0,50 m s^{-1} treatments were 8; 9,25 and 11,4 hours, respectively. The drying times to achieve the approximated water content value of 20 % b.u. for the 60 ^{o}C – 1,00 m s^{-1}, 60 ^{o}C – 0,75 m s^{-1} and 60 ^{o}C – 0,50 m s^{-1} treatments were 8,4; 9,5 and 12,25 hours, respectively. The equation proposed by Lewis is valid to represent the humidity mean in relation to time.

KEY WORDS: pineapple-drying kinetics, pineapple-humidity mean.

INTRODUÇÃO

Um dos processos mais importantes de preservação de alimentos por decréscimo de atividade de água é a desidratação ou secagem. A secagem pode significar também considerável economia no transporte, no manuseio e na estocagem do produto, além de proporcionar um efetivo método de prolongamento de sua conservação. O interesse por alimentos desidratados tem crescido paralelamente ao aumento da demanda por alimentos "prontos para o consumo" (ROMERO-PEÑA & KIECKBUSCH, 2003).

Na secagem, uma vez que o produto é colocado em contato com o ar quente, ocorre uma transferência de calor do ar para o produto sob a diferença de temperatura existente entre eles. Simultaneamente, a diferença de pressão parcial de vapor de água existente entre o ar e a superfície do produto determina uma transferência de massa para o ar na forma de vapor da água (RODRIGUES et al., 2002).

Quando o ar é aquecido, o seu potencial de absorção de água é aumentado e algumas de suas propriedade psicrométricas mudam e outras permanecem constantes. As mudanças ocorridas no ar atmosférico após o aquecimento são: incremento na entalpia específica (kJ/kg de ar seco), no volume específico do ar seco (m^3/kg de ar seco); decréscimo na umidade relativa (%); a pressão de vapor (hPa) e a razão de mistura (kg de vapor d'água/kg de ar seco) permanece constante (SILVA, 2000).

O ar, quando atravessa a massa do produto, durante um determinado intervalo de tempo, certa quantidade de água do produto é evaporada passando para o ar. Neste intervalo, a temperatura do ar diminui, em conseqüência do aumento de temperatura do produto e do resfriamento evaporativo que acompanha a transferência de umidade e há um incremento na umidade relativa (%), um decréscimo na temperatura de bulbo seco (^oC) e a entalpia (kJ/kg de ar seco) permanecem constantes (SILVA, 2000).

A duração do período de secagem é determinada pela umidade inicial do produto e pela temperatura e vazão do ar utilizado no processo de secagem. O tempo de secagem é dimuído quando se aumenta a temperatura do ar ou sua vazão.

A forma de uma curva de secagem normal varia conforme o alimento, com os diferentes tipos de secadores, e em resposta às variações das condições de secagem tais como a temperatura, a umidade, a velocidade do ar, o sentido do ar, a espessura do alimento, dentre outros fatores (HAWLADER et al., 1991).

RODRIGUES et al., (2002) trabalhando com a avaliação da temperatura e velocidade do ar na secagem de goiaba observou que para o mesmo tempo do processo, quanto maior for a temperatura do ar, maior é a taxa de secagem e a perda de umidade da goiaba tende a estabilizar no período de 90 minutos. Concluiu também que a temperatura é o fator controlador do processo de secagem e que a velocidade do ar secagem tem uma pequena influência, quando trabalhadas nas faixas de temperaturas maiores que 100 °C e 2,0 m s^{-1}, correspondendo estas as melhores faixas de trabalho.

GOUVEIA et al. (2002) no estudo da avaliação da cinética de caju mediante um planejamento experimental mostraram efeitos significativos para a temperatura do ar de secagem sobre a perda do teor de umidade concluindo que a temperatura é o fator controlador do processo.

PARK et al., 2001 estudou a secagem de pêra bartlett em fatias e concluiu que os valores da difusividade aumentaram com o aumento da temperatura do ar de secagem (estes valores variam de $5,564 \times 10^{-9}$ até $1,370 \times 10^{-8}$ m^2 s^{-1}), mostrando a diminuição das resistências internas de secagem com o aumento da temperatura. A difusividade efetiva da pêra aumenta com o aumento da velocidade do ar, sendo que este aumento é mais acentuado conforme aumenta a temperatura. Este comportamento pode ser explicado pela diminuição da resistência externa com o aumento do coeficiente convectivo em função do aumento da velocidade e da temperatura do ar de secagem. Este aumento do coeficiente convectivo causa aumento na temperatura do material, diminuindo a resistência interna em função do aumento da temperatura. O aumento dos valores de energia de ativação com o aumento da velocidade do ar (16.460,3 J mol^{-1} para a velocidade 1,5 m s^{-1}) reforça esta relação da resistência interna versus externa.

A secagem com ar quente é, portanto, um processo artificial, mecânico e indispensável, destinado a remover o excesso de umidade até o limite conveniente, com a responsabilidade de não alterar as propriedades físicas, químicas e biológicas dos alimentos. Objetivou-se neste trabalho o estudo do tempo de secagem e a influência das temperaturas 60, 65 e 70 °C, bem como as velocidades do ar de secagem 0,50; 0,75 e 1,00 m s-1 do abacaxi secado em fatias em secador de leito fixo.

MATERIAL E MÉTODOS

Condições gerais

O trabalho foi realizado no laboratório de Pré-Processamento e Armazenamento de Produtos Vegetais do Departamento de Engenharia Agrícola localizado na Universidade Federal de Viçosa – UFV.

Utilizaram-se frutos, da variedade "pérola", proveniente do CEASA de Belo Horizonte. O teor inicial de água dos frutos foi, aproximadamente, 86 % b.u.

As etapas de processamento foram realizadas de acordo com o cronograma da Figura 1 (CORNEJO et al., 2003).

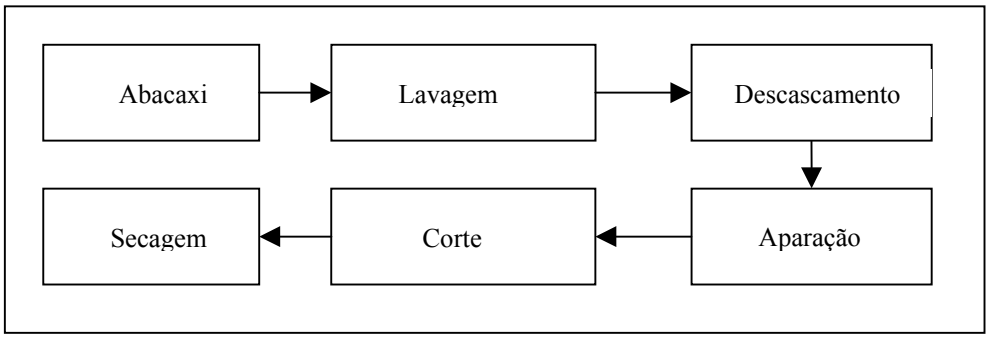


Figura 1: Etapas do processo de secagem de abacaxi.

Efetuou-se a pré-lavagem dos frutos com água potável para remover sujeiras e outros materiais estranhos. A carga microbiana das cascas foi reduzida imergindo as frutas em água clorada de concentração de 10 ppm de cloro, por dez minutos. O descascamento do produto foi feito manualmente.

Eliminaram-se as pontas, outras extremidades e possíveis fragmentos do produto proveniente da etapa anterior. Os frutos foram descascados, retirado o miolo, sendo metade dos mesmos cortado em "rodelas" com aproximadamente 0,01 m de espessura e estas cortadas em "metades" longitudinalmente.

Determinou-se, após o corte, o teor de água do produto em estufa, a 105 °C, ± 2 °C pela técnica gravimétrica baseada na perda de peso das amostras até peso constante, conforme as Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz (1985).

Secagem

Para a secagem utilizou-se um secador cilíndrico de bancada, leito fixo, com controle automático da temperatura do ar de secagem, composto por um ventilador de 372,85 W, resistências elétricas e bandeja com diâmetro de 0,335 m, conforme a Figura 2. O ar foi movimentado perpendicularmente ao sentido da bandeja. Reduziu-se, por meio da secagem com ar aquecido e circulação forçada até um teor de água final de aproximadamente 20 % b.u.

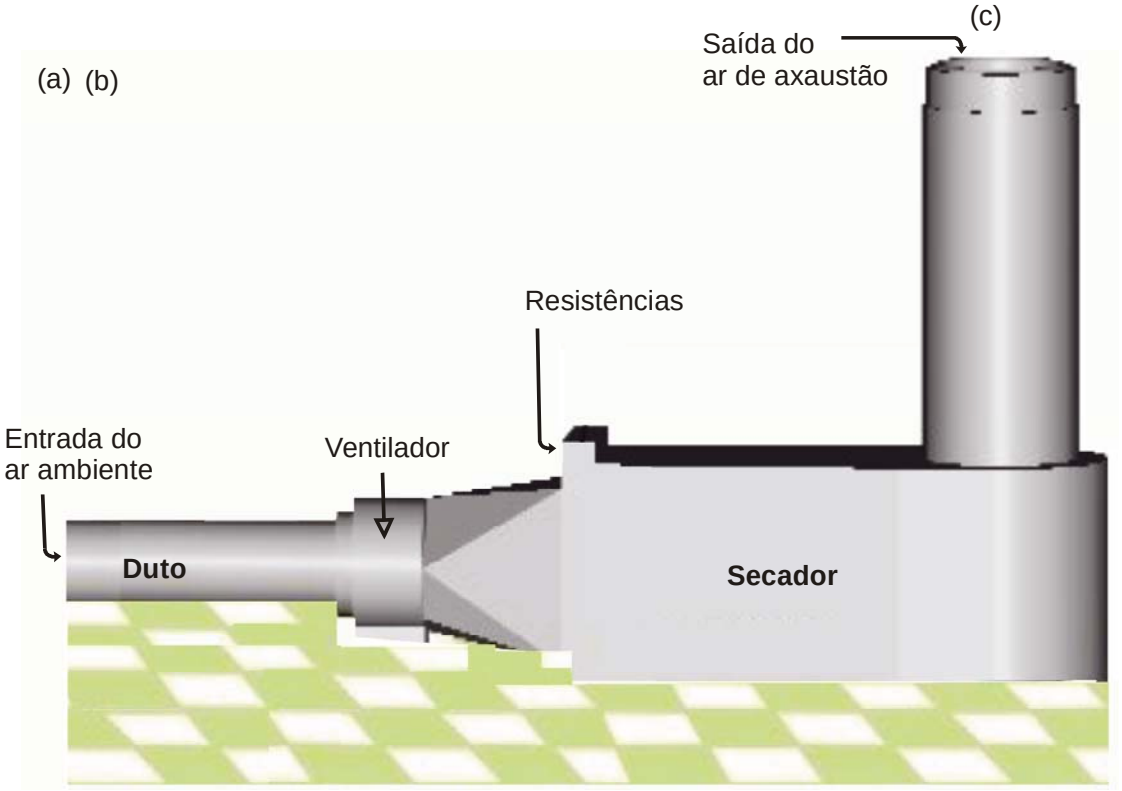


Figura 2: Vista lateral do secador utilizado na secagem de abacaxi.

Estudou-se a influência das temperaturas do ar de secagem, que variaram de 60, 65 e 70 °C e a velocidade do ar de secagem de 0,5, 0,75 e 1,00 m s^{-1} conforme descrito na Tabela 1. Utilizaram-se três testes para cada tratamento.

Tabela 1: Disposição dos tratamentos em relação à temperatura e velocidade do ar de secagem

Tratamento	Temperatura (°C)	Velocidade (m s^{-1})
1	70	1,00
2	70	0,75
3	70	0,50
4	65	1,00
5	65	0,75
6	65	0,50
7	60	1,00
8	60	0,75
9	60	0,50

A velocidade do ar de saída no secador foi mensurada com um termoanemômetro, com o sistema de aquecimento de ar desligado. Na saída do ar de exaustão, cujo diâmetro era de 0,335 m de comprimento, foi dividida em 12 pontos de leitura, conforme Figura 3. O peso do produto foi mensurado em uma balança digital em intervalos de trinta minutos.

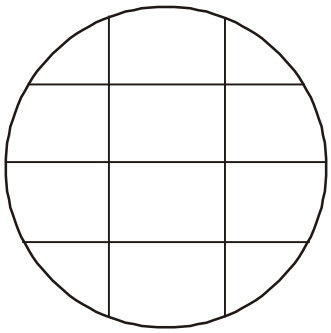


Figura 3: Vista da saída do ar de exaustão reticulada para mensurar a velocidade do ar.

Mensurou-se a temperatura do ar ambiente, temperatura de bulbo seco e bulbo úmido e do ar de exaustão nos pontos a, b e c respectivamente por meio de termopares do tipo T, conforme mostrados na Figura 2. Para mensurar a temperatura de bulbo úmido utilizou-se um pano de algodão embebido em água destilada na extremidade do termopar, o qual foi ventilado a uma velocidade de 5 m s^{-1}.

Para o monitoramento da temperatura dos termopares, foi utilizado um sistema automático de aquisição de dados, no qual os dados de leitura foram visualizados e salvos em um computador em intervalos regulares de um minuto.

Cálculo da razão de umidade

Os valores da umidade de equilíbrio utilizados no cálculo da razão de umidade foram obtidos por NICOLETI, 2001. O modelo ajustado aos dados experimentais de RU em função do tempo está apresentado na Equação 1 proposta por Lewis, citado por JAYAS et al. (1991):

$$RU = \frac{U - U_e}{U_0 - U_e} = \exp(-k.t) \qquad (1)$$

em que:

RU = Razão de Umidade, decimal b.s;

U = Teor de água no instante t, decimal b.s;

U_e = Teor de água na condição de equilíbrio, decimal b.s;

U_0 = Teor de água inicial, decimal b.s;

k = constante de secagem, h^{-1}; e

t = tempo equivalente de secagem, h.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e à superfície de resposta, e os modelos foram escolhidos com base na significância dos coeficientes de regressão, utilizando-se o teste t a 5 % e o coeficiente de determinação, enquanto os dados obtidos foram analisados estatisticamente, utilizando-se os programas computacional SAEG, versão 8 e Statistica versão 6.0.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O experimento consistiu de nove tratamentos, com três testes cada. As características operacionais de secagem foram diferentes, apesar do produto, abacaxi "pérola", apresentar características físicas bem uniformes. Os testes não foram semelhantes, pois houve variação nas propriedades temperatura e umidade relativa do ar ambiente. Ainda que a temperatura do ar de secagem tenha sido uniforme, a variação da temperatura ambiente pode afetar o consumo de energia. Em alguns testes houve o problema de interrupção da energia elétrica, não mais que trinta minutos, desta forma houve a opção pelos testes em que não houve queda de energia. Foram realizados três testes por recomendação de BAKKER-ARKEMA et al. (1978) para avaliação da secagem.

Temperatura e umidade relativa do ar ambiente

Nas Figuras 3, 4 e 5 estão apresentados os valores de temperatura e umidade relativa do ar ambiente, durante os testes de secagem do abacaxi "pérola" para as diferentes temperaturas e velocidades do ar de secagem estudadas. Mesmo com as oscilações observadas no ar ambiente durante todos os tratamentos, as temperaturas do ar de secagem mantiveram-se próximas das estudadas, 60, 65 e 70 °C.

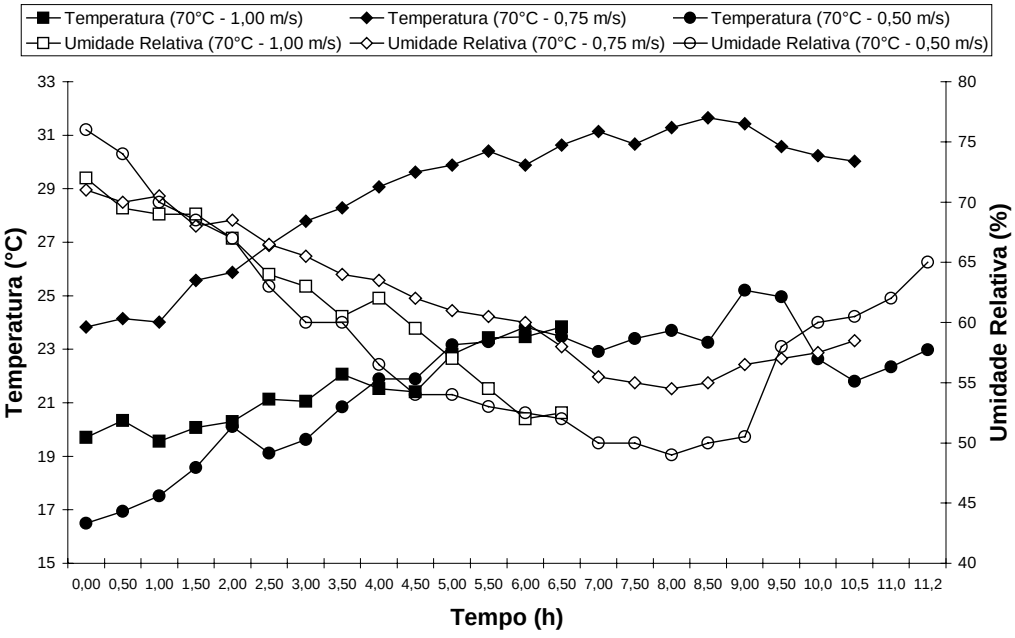


Figura 3: Temperatura e umidade relativa do ar ambiente para a temperatura do ar de secagem de 70 °C, nas diferentes velocidades do ar de secagem estudadas.

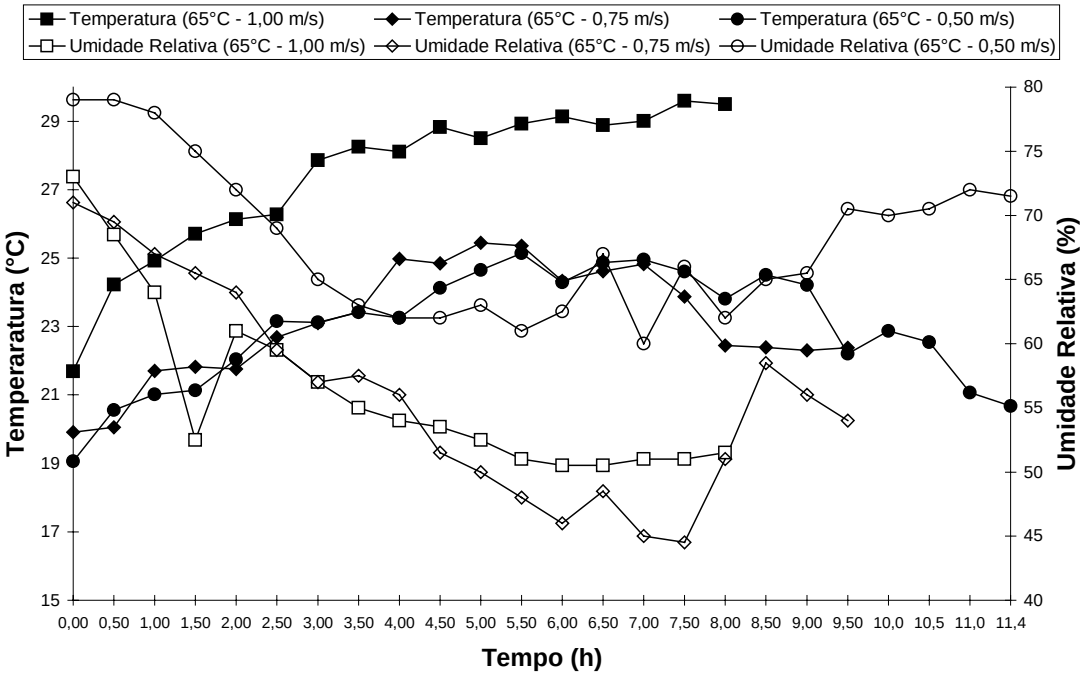


Figura 4: Temperatura e umidade relativa do ar ambiente para a temperatura do ar de secagem de 65 °C, nas diferentes velocidades do ar de secagem estudadas.

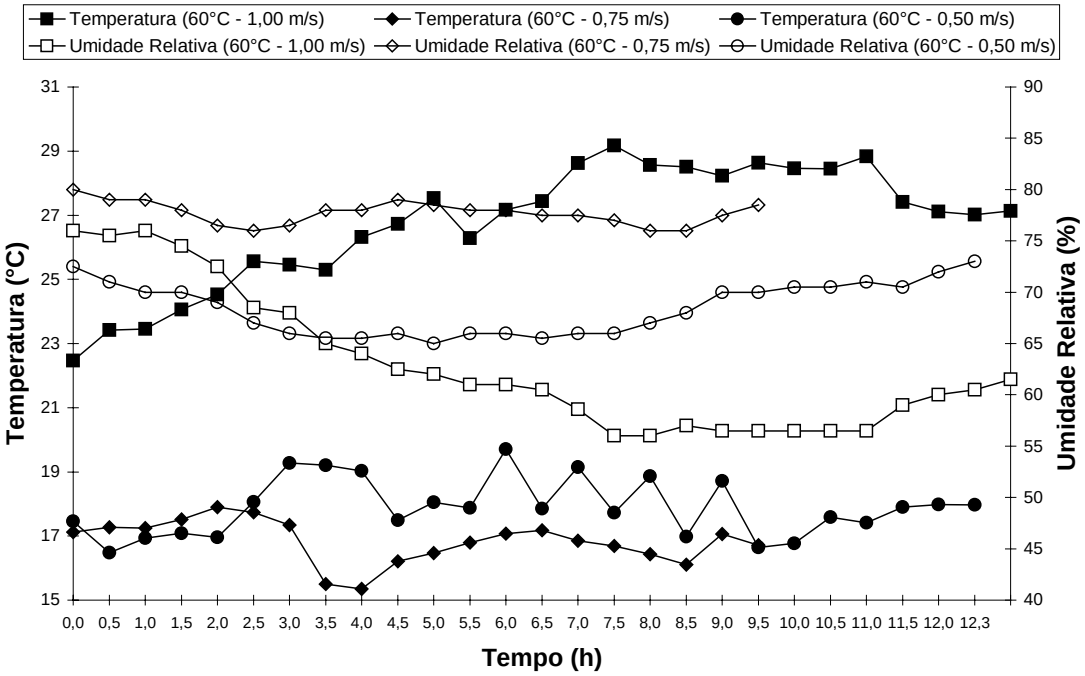


Figura 5: Temperatura e umidade relativa do ar ambiente para a temperatura do ar de secagem de 60 °C, nas diferentes velocidades do ar de secagem estudadas.

Pode-se observar, de acordo com as Figuras 3, 4 e 5, que houve variação na temperatura e umidade relativa do ar ambiente nos dias em que houve a secagem do abacaxi. Como o ar é composto de certa quantidade de vapor d'água, a energia utilizada na secagem pode ser afetada pela variação da temperatura e umidade relativa, mesmo que a temperatura de secagem não for alterada.

Curvas de secagem

Nas Figuras 6 a 14 encontram-se os dados experimentais da razão de umidade, para o abacaxi "pérola" para as temperaturas do ar de secagem iguais a 70, 65 e 60 °C, nas diferentes velocidades do ar de secagem estudadas, 1,00, 0,75 e 0,50 m s^{-1}, respectivamente.

Pode-se verificar que para cada velocidade do ar estudada, o tempo de secagem diminui com o aumento da temperatura do ar de secagem, já que o tempo de secagem é influenciado pela temperatura. Aumentando-se a temperatura do ar o potencial de transferência de água no produto para o ar de secagem se torna maior, dentro de certos limites. O mesmo verifica-se em relação à velocidade do ar, o tempo de secagem diminui com o aumento da velocidade do ar de secagem, já que o tempo de secagem é influenciado não somente pela temperatura do ar de secagem como também pela velocidade desse ar.

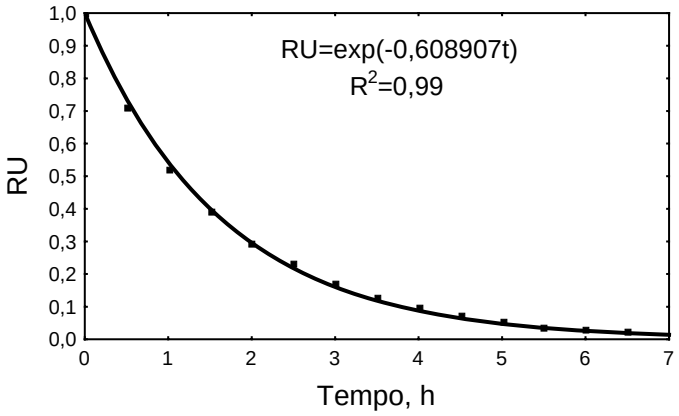


Figura 6: Valores experimentais e calculados da razão de umidade (RU) do abacaxi "pérola", para temperatura do ar de secagem de 70 °C e velocidades do ar de secagem de 1,00 m s^{-1}.

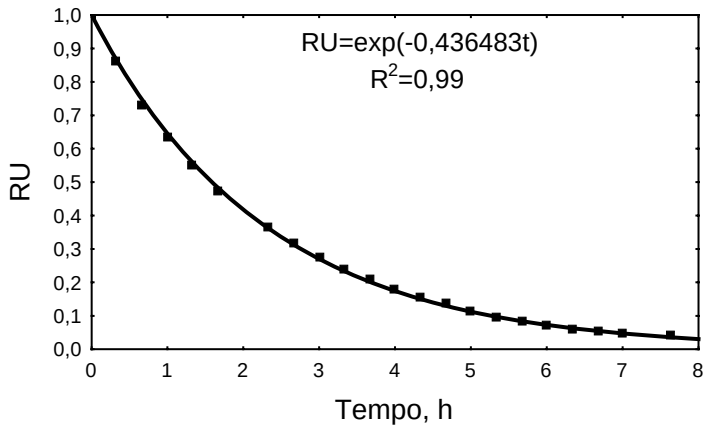


Figura 7: Valores experimentais e calculados da razão de umidade (RU) do abacaxi "pérola", para temperatura do ar de secagem de 70 °C e velocidade do ar de secagem de 0,75 m s^{-1}.

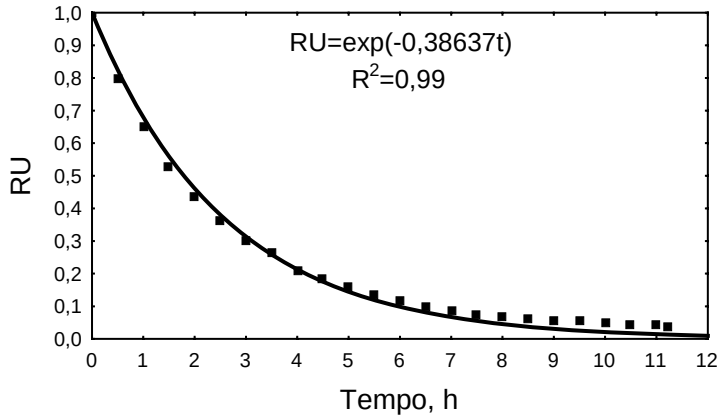


Figura 8: Valores experimentais e calculados da razão de umidade (RU) do abacaxi "pérola", para temperatura do ar de secagem de 70 °C e velocidade do ar de secagem de 0,50 m s^{-1}.

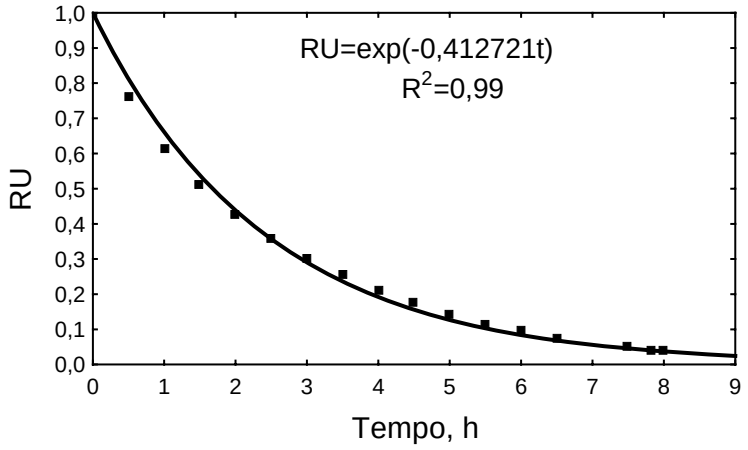


Figura 9: Valores experimentais e calculados da razão de umidade (RU) do abacaxi "pérola", para temperatura do ar de secagem de 65 °C e velocidade do ar de secagem de 1,00 m s^{-1}.

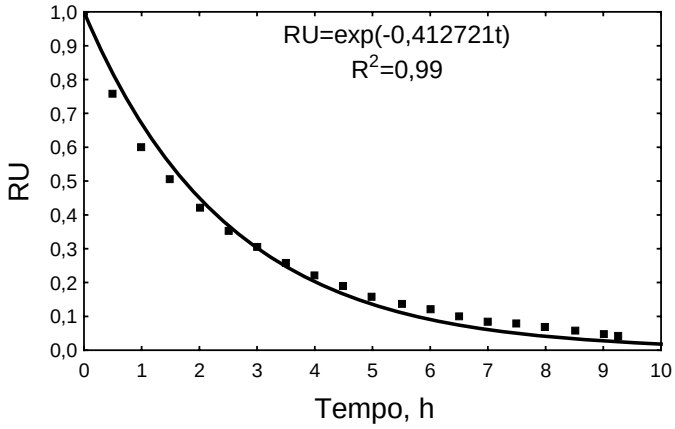


Figura 10: Valores experimentais e calculados da razão de umidade (RU) do abacaxi "pérola", para temperatura do ar de secagem de 65 °C e velocidade do ar de secagem de 0,75 m s^{-1}.

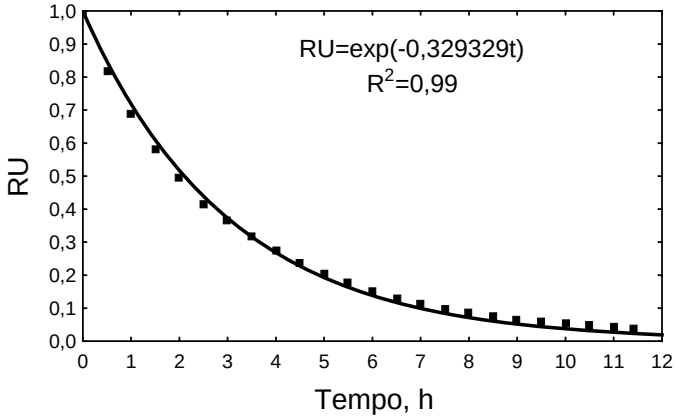


Figura 11: Valores experimentais e calculados da razão de umidade (RU) do abacaxi "pérola", para temperatura do ar de secagem de 65 °C e velocidade do ar de secagem de 0,50 m s^{-1}.

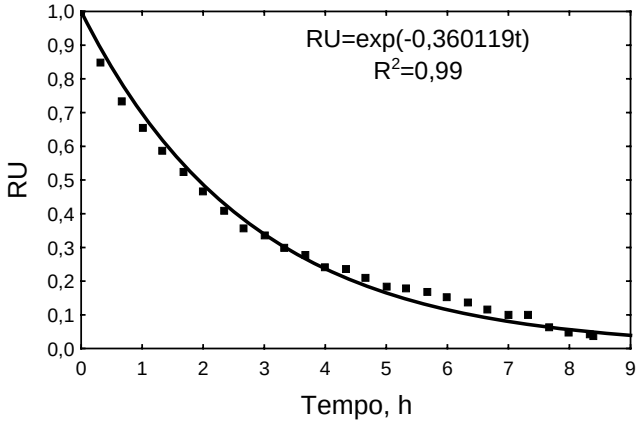


Figura 12: Valores experimentais e calculados da razão de umidade (RU) do abacaxi "pérola", para temperatura do ar de secagem de 60 °C e velocidade do ar de secagem de 1,00 m s^{-1}.

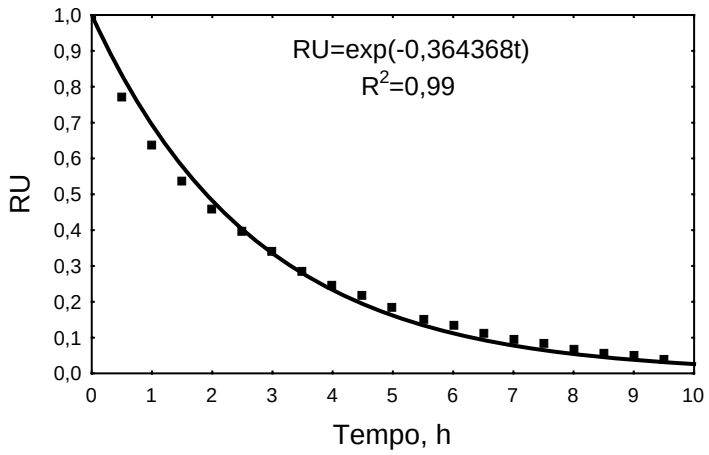


Figura 13: Valores experimentais e calculados da razão de umidade (RU) do abacaxi "pérola", para temperatura do ar de secagem de 60 °C e velocidade do ar de secagem de 0,75 m s^{-1}.

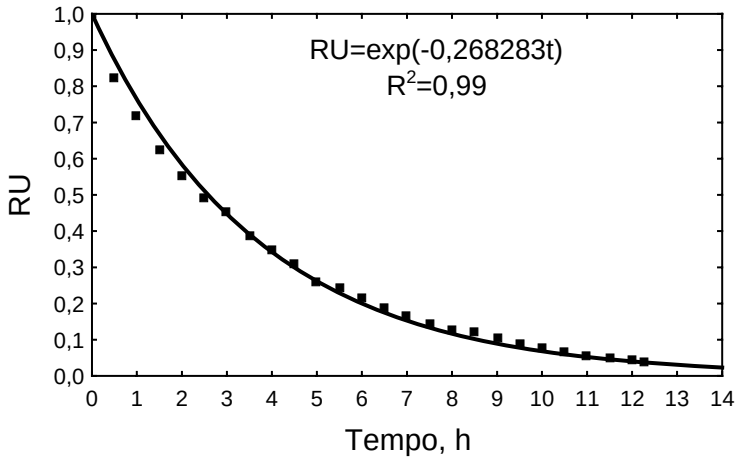


Figura 14: Valores experimentais e calculados da razão de umidade (RU) do abacaxi "pérola", para temperatura do ar de secagem de 60 °C e velocidade do ar de secagem de 0,50 m s^{-1}.

Pode-se observar nas Figuras 6, 7 e 8 que para o mesmo tempo de secagem, os valores da razão de umidade para os tratamentos 1, 2 e 3 são diferentes e apresentam o mesmo comportamento ao longo de todo o processo de secagem. No início do processo a razão de umidade diminui significativamente, parte expressiva de moléculas de água está com as ligações químicas fracas, por isso é denominada de "água livre" e desta forma é facilmente removida. No final do processo, há uma tendência da razão de umidade se tornar constante, este

comportamento está relacionado com a resistência interna ao transporte de umidade, que, de acordo com CANO-CHAUCA, (2000), neste período a água interage com os grupos polares das moléculas dos constituintes do produto dificultando a transferência de umidade do produto para o ar. O mesmo comportamento das curvas de secagem se pode verificar nas Figuras 9 a 11 para os tratamentos 4, 5 e 6 e nas Figuras 12 a 14 para os tratamentos 7, 8 e 9.

As Figuras 06 a 14 mostram que o coeficiente de correlação (R^2) de 0,99 demonstra que a equação proposta por Lewis ajustou-se bem aos dados experimentais. Em geral, o parâmetro "k" da equação representa o efeito das condições externas de secagem.

Os tempos de secagem para atingir o valor aproximado do teor de água de 20 % b.u. para os tratamentos 70 °C -1,00 m s^{-1}, 70 °C -0,75 m s^{-1} e 70 °C - 0,50 m s^{-1} foram respectivamente de 6,5; 7,62 e 11,22 horas.

Os tempos de secagem para atingir o valor aproximado do teor de água de 20 % b.u. para os tratamentos 65 °C -1,00 m s^{-1}, 65 °C -0,75 m s^{-1} e 60 °C - 0,50 m s^{-1} foram respectivamente de 8; 9,25 e 11,4 horas.

Os tempos de secagem para atingir o valor aproximado do teor de água de 20 % b.u. para os tratamentos 60 °C -1,00 m s^{-1}, 60 °C -0,75 m s^{-1} e 60 °C - 0,50 m s^{-1} foram respectivamente de 8,4; 9,5 e 12,25 horas.

CONCLUSÕES

Diante dos resultados obtidos sobre o estudo da influência da secagem nos parâmetros qualitativos do abacaxi, pode-se concluir que:

1. O tempo de secagem é influenciado pela temperatura e velocidade do ar de secagem.

2. A Equação proposta por Lewis é válida para representar a razão de umidade em função do tempo para o abacaxi em fatias secado em leito fixo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAKKER-ARKEMA, F.W., LERWE, L.E., BROOK, R.C., BROOKER, D.B. Energy and capacity performance evaluation of grain dryers. Chicago**:** ASAE, St. Joseph: **ASAE**, 1978. p.1-14.

BROD, F.P.R., ALONSO, L.F.T., PARK, K.J. Secagem de produtos agrícolas. XI **SEMEAGRI – Semana de Engenharia Agrícola da Unicamp**. Campinas: Agrológica – Empresa Júnior de Eng. Agrícola. 1999. 122p.

CANO-CHAUCA, M. N. **Avaliação dos parâmetros de qualidade envolvidos na desidratação da banana**. Viçosa: Dissertação de Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Faculdade de Tecnologia de Alimentos, UFV - Universidade Federal de Viçosa (UFV), 2000.

CARNEJO. F.;MACHADO, R.; NOGUEIRA, R. I.; WILBERG, V. C. **Frutas desidratadas: iniciando um pequeno grande negócio agroindustrial**. Brasília: EMBRAPA, 2003.

GOUVEIA, J.P., MOURA, R.S.F., ALMEIDA, A.M.V., SILVA, M.M. Avaliação da cinética de secagem de caju mediante um planejamento experimental. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.6, n.3, p.471-474, 2002.

HAWLADER, M.N.A., UDDIN, M.S., HO, J.C., TENG, A.B.W. Drying characteristics of tomatoes**. Journal of Food Engineering**. v.14, 259-268, 1991.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz**: métodos químicos e físicos para análise de alimentos. 3.ed., São Paulo, v.1, 1985. 533p.

JAYAS, D.S.; CENKOWSKI, S.; PABIS, S.; MUIR, W. Review of thin-layer drying and wetting equations. **Drying Technology**, New York, v.9, n.3, p.551-588, 1991.

NICOLETTI, J.F. **Cinética de secagem e encolhimento de fatias de abacaxi**. São José do Rio Preto, SP: UNESP, 2001. 60p. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos) – Universidade Estadual Júlio de Mesquita, 2001.

PARK, K.J., MORENO, M.K., BROD, F.P.R. Estudo de secagem de pêra bartlett (*Pyrus* sp.) em fatias. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.21, n.3, p.288-292, 2001.

RODRIGUES, M.E.A., ALMEIDA, F. de A. C.; GOUVEIA, SILVA, M. M. da. Avaliação da temperatura e velocidade do ar na secagem de goiaba. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.4, n.2, p.141-147, 2002.

ROMERO-PEÑA, L.M., KIECKBUSCH, T.G. Influência de condições de Secagem na qualidade de fatias de tomate. **Brazilian journal of food technology**, v.6, n.1, p.69-76, 2003.

SILVA, J S. **Secagem e armazenagem de produtos agrícolas**. Viçosa, MG, Aprenda Fácil, 2000. 502p.

MODELAGEM DA CINÉTICA DE SECAGEM DE ABACAXI EM FATIAS USANDO SECADOR DE LEITO FIXO

RESUMO: A secagem tem sido bastante difundida nestes últimos anos por ser um dos mecanismos para reverter o atual quadro de perdas devido à deterioração dos produtos agrícolas, principalmente frutas. A modelagem matemática é uma importante ferramenta para representar e analisar o comportamento da cinética de secagem de produtos agrícolas. Neste trabalho objetivou-se o desenvolvimento de um modelo de simulação do processo de secagem de abacaxi em fatias validando-o por meio da comparação de resultados simulados com os de testes experimentais. Utilizou-se um secador de leito fixo com controle automático da temperatura do ar de secagem com as temperaturas de 60, 65 e 70 °C e velocidades do ar de secagem de 0,50; 0,75 e 1,00 m s^{-1}, totalizando nove tratamentos. O trabalho foi conduzido no Laboratório de Pré-processamento e Armazenamento de Produtos Vegetais do Departamento de Engenharia Agrícola localizado no campus da Universidade Federal de Viçosa - UFV. Foi usado um secador cilíndrico de bancada, tipo leito fixo, com ventilador de 372,85 W e resistências elétricas. O abacaxi foi descascado, cortado em fatias de espessura de 0,01 m dispostas em uma bandeja, em duas camadas. As temperaturas do ar ambiente (bulbo seco e bulbo úmido) e do ar de exaustão foram obtidas por meio de termopares tipo T e onde os dados de leitura foram visualizados e salvos em um microcomputador em intervalos de um minuto. A velocidade do ar de saída no secador foi monitorada por um termoanemômetro, com o sistema de aquecimento de ar desligado. O peso do produto foi mensurado em uma balança digital, em intervalos de trinta minutos. O modelo proposto por THOMPSON et al. (1968) adaptado para o abacaxi em fatias, secado em leito fixo, mostrou-se viável e com precisão satisfatória. Concluiu-se que o programa Desidrat 1.0, pode ser utilizado para prever os parâmetros relacionados às condições da secagem realizada.

PALAVRAS-CHAVE: abacaxi, modelo matemático, simulação.

PINEAPPLE IN SLICES KINETICS DRYING MODELING USING A FIXED BED DRIER

ABSTRACT: The drying has been greatly divulged in these past years for being one of the mechanisms that reverts the current losses patterns due to the agricultural products deterioration, mainly the fruit. The mathematical modeling is an important tool to represent and analyze the agricultural products drying kinetics behavior. This study aimed at developing a simulated model of the pineapple in slices drying process validating it through the comparison of the results simulated with the experimental tests. A fixed bed with automatic control drying of the 60, 65 and 70 ^{o}C air drying temperature and the 0,50; 0,75 and 1,00 m s^{-1} air drying speed were used, totaling nine treatments. The study was carried out in the Vegetal Products Pre-processing Laboratory in the Agricultural Engineering Department in The Federal University of Viçosa – UFV. A cylindrical testing bench, fixed bed type, with a 372,85 W fan and electrical resistance, was used. The pineapple was peeled, sliced with a 0,01 m thickness and disposed on a tray in two layers. The room temperature (dry and humid bulb) and exhausting air temperature were obtained through thermopairs where the reading data were visualized and saved on a microcomputer in regular one-minute intervals. A thermo anemometer monitored the air exit speed in the drier, with the air system turned off. The product weight was measured on a digital scale, in thirty-minute intervals. The model proposed by THOMPSON et.al. (1976) adapted for pineapple in slices, dried in a fixed bed, showed to be practicable and with a satisfactory accuracy. It was concluded that the Desidrat 1.0 program can be used to preview the parameters related to the drying conditions carried out.

KEY WORDS: mathematics pineapple-model, mathematics pineapple-simulated.

INTRODUÇÃO

Vários modelos foram propostos para predizer o comportamento da secagem de produtos agrícolas, por esses se apresentarem como uma importante ferramenta para o profissional da área (SOUZA et al., 2002). Para descrever o processo de secagem no período de taxa decrescente, utilizam-se modelos teóricos, semi-empíricos e empíricos, que são geralmente baseados no fenômeno de transferência de calor e de massa.

O estabelecimento de curvas de equilíbrio higroscópico é importante para definir limites de desidratação do produto, estimar as mudanças de umidade sob determinada condição de temperatura e umidade relativa do ambiente e para definir os teores de umidade propícios ao início de atividade de agentes que irão provocar a deterioração do produto. No caso do abacaxi torna-se importante ressaltar que as condições de secagem e o armazenamento adequado são essenciais para manter a qualidade desse produto devido à elevada atividade de água.

Vários autores têm estudado o comportamento higroscópico de vários produtos agrícolas utilizando métodos diferenciados para expressar o teor de umidade de equilíbrio em função da temperatura e umidade relativa do ar (isotermas de sorção). Entretanto, para o estabelecimento de isotermas que representem essa relação de equilíbrio são utilizados modelos matemáticos empíricos, uma vez que nenhum modelo teórico desenvolvido tem sido capaz de predizer com precisão o teor de umidade de equilíbrio para uma ampla faixa de temperatura e umidade relativa do ar. As equações empíricas mais empregadas para predizer o teor de umidade de equilíbrio de produtos de origem vegetal são as seguintes: BET, GAB, Henderson, Henderson-Modificada, Chung-Pfost, Oswin, Smith, Halsey e Aguerre, por apresentarem um bom ajustamento a dados experimentais (AGUERRE at al., 1989; JAYAS e MAZZA, 1991; BROOKER et al., 1992; SUN e WOODS, 1994; MOREY et al., 1995; TALIB et al., 1995; CHEN e JAYAS, 1998; CORRÊA et al., 1998; SOYSAL e ÖZTEKIN, 1999).

Durante a secagem, a evaporação da água é obtida pela movimentação da água, decorrente de uma diferença de pressão de vapor d'água entre a superfície do produto e o ar que o envolve. A condição para que um produto seja submetido

ao processo de secagem é que a pressão de vapor sobre a superfície do produto seja maior do que a pressão do vapor d'água no ar de secagem (SILVA et al., 2000).

Estudos sobre a movimentação de umidade no interior de grãos submetidos ao processo de secagem, revelaram que o transporte de umidade ocorre por difusão de líquido ou difusão de vapor ou, ainda, pela combinação destes mecanismos, predominando um ou outro durante a secagem (ALVARENGA et al., 1980). Entretanto, FORTES & OKOS (1981) afirmam que em determinada fase da secagem, o movimento de umidade é, basicamente, determinado pela difusão de líquido.

De acordo com PARK et al. (2001), em determinadas situações, o processo de secagem de um produto, sob condições constantes de temperatura, umidade relativa e velocidade do ar, pode ser dividido em um período de velocidade constante e outro de velocidade decrescente. Durante o período de velocidade constante a temperatura do produto se mantém igual à do ar de secagem saturado e as transferências de calor e massa se compensam, ou seja, o ar recupera, sob a forma de vapor, o que perdeu sob a forma de calor. O mecanismo interno de fluxo de água não afeta a velocidade de secagem porque a taxa interna de deslocamento de água para a superfície do produto é igual ou maior do que a máxima taxa de remoção de vapor d'água pelo ar, sendo evaporada apenas a água livre, entretanto em alguns produtos agrícolas este período é muito curto ou inexistente. No período de velocidade decrescente de secagem, a taxa interna de transporte de água é menor do que a taxa de evaporação; desta forma a transferência de calor do ar para o produto não é compensada pela transferência do vapor de água e, conseqüentemente, a temperatura do grão aumenta, tendendo a atingir a temperatura do ar de secagem.

Na Teoria de Difusão Líquida, a segunda lei de Fick tem sido utilizada por estabelecer a difusão de umidade em termos do gradiente de concentração (BROOKER et al., 1992). Esta teoria tem sido amplamente utilizada na área de secagem de frutas (Equação 1):

$$\frac{\partial U}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left(D\frac{\partial U}{\partial x}\right) \tag{1}$$

em que

U = teor de umidade, decimal base seca;

D = coeficiente de difusão de líquido, $m^2.s^{-1}$

t = tempo, s; e

x = distância em relação a um ponto de referência no corpo, m.

Algumas considerações devem ser avaliadas, tais como: a redução de volume deve ser desprezada, não existência do efeito de capilaridade; os corpos entram em equilíbrio térmico com ar instantaneamente e os efeitos da transferência de energia e de massa de um corpo para outro são admitidos desprezíveis. Uma das fontes de erro seria o fato de considerar-se o coeficiente de difusão constante e independente do teor de umidade e das modificações internas que ocorrem durante a evolução do processo de secagem do produto. Por fim, outra consideração a ser feita diz respeito ao fato de se admitir que o produto a ser submetido à secagem ter uma forma (plana, cilíndrica ou esférica) diferente de sua exata geometria (Brooker et al.,1992 e Hamdy e Barrem, 1970), citados por AFONSO JUNIOR (2001).

Diversas equações empíricas de secagem são encontradas na literatura. Embora várias teorias e modelos matemáticos tenham sido propostos para predizer o comportamento da secagem de grãos e cereais, na maioria das vezes, as relações semi-empíricas e empíricas têm-se mostrado como melhores opções para predizer o processo de secagem, apesar de sua validade estar restrita às condições sob as quais os dados experimentais foram obtidos (ROSSI & ROA, 1980; BROOKER et al., 1992).

Os modelos empíricos e semi-empíricos são baseados na lei de Newton, para o resfriamento, aplicados à transferência de massa. Quando se aplica essa lei, presume-se que as condições sejam isotérmicas e que a resistência à transferência de umidade se restrinja à superfície. Vários pesquisadores têm usado uma equação de secagem, que é baseada na solução analítica da equação de difusão (BABALIS e VELESSIOTIS, 2004). O modelo de Lewis, análogo a lei de resfriamento de Newton, que na sua forma integrada e comumente chamada de modelo exponencial. Este modelo estabelece que a taxa de secagem seja proporcional ao teor de água livre (PARRY, 1985).

Nos modelos empíricos há duas importantes modificações do modelo exponencial na forma integrada com dois ou três parâmetros que apresentam bons

ajustes experimentais. O modelo de PAGE (1949) é freqüentemente utilizado nos estudos da secagem de produtos agrícolas, em particular para grãos e sementes, por apresentar bons resultados.

A equação proposta por THOMPSON et al. (1968), também tem sido bastante usada na obtenção de uma equação empírica de secagem em camada delgada. WANG e BRENNAN (1995).

WANG e SINGH (1978) apresentaram uma forma modificada da equação de Thompson, este modelo simula o processo de secagem por meio de um conjunto de equações baseadas nas leis de transferência de energia e de massa, bem como por uma equação empírica de secagem em camada delgada (SILVA, 2000).

De acordo com NICOLETI (2001), os principais fatores que afetam a taxa de secagem são as propriedades físicas do produto, o arranjo geométrico do produto em relação à superfície de transferência de calor, as propriedades físicas do ambiente de secagem e a característica do equipamento de secagem. Dos fatores citados, o que mais influencia a taxa de secagem é a natureza da matéria prima, compreendendo a constituição química e física das paredes das células.

Dentre os problemas encontrados durante a secagem têm-se a complexidade da composição e estrutura do alimento e mais especificamente os coeficientes de transferência de calor e massa, bem como as propriedades termodinâmicas do alimento. Estas propriedades são função da temperatura e umidade, e forma que a equação diferencial resultante do novo sistema torna-se não linear e somente pode ser resolvida por métodos numéricos. O alimento reduz seu volume consideravelmente, ocasionando mudanças no tamanho e forma e, consequentemente influenciando na taxa de secagem. Alguns autores não atentam para a redução do volume do produto e consideram apenas seus efeitos na difusividade efetiva ou aparente; quando o encolhimento é considerado, seu efeito é reconhecido somente como decréscimo nas dimensões do produto.

Na literatura são relatados vários modelos matemáticos para descrever a secagem em camada delgada, propostos por diferentes autores para diversos produtos. Entretanto, para o abacaxi, poucas informações encontram-se disponíveis.

Vários pesquisadores utilizaram modelos matemáticos para descreverem a secagem de materiais biológicos: CONDE (2004) utilizou o modelo de Page e

adaptou o modelo de Thompson para a secagem de cenoura; FIOREZE e MORINI (2000) utilizaram o modelo de Thompson para a secagem de inhame. O modelo de Fick foi utilizado por TOGRUL e PEHLIVAN (2004) para predizer a secagem de uva, pêssego, figo e ameixa; HAWLADER et al. (1991) para tomates e BABALIS e VELESSIOTIS (2004) para figos.

Na literatura são relatados vários modelos matemáticos para descrever a secagem em camada delgada, propostos por diferentes autores para diversos produtos. Entretanto, para o abacaxi, poucas informações encontram-se disponíveis.

Considerando as condições pelas quais o produto passa durante o processo de secagem, este trabalho objetivou:

1. O desenvolvimento de um modelo de simulação do processo de secagem de abacaxi em fatias utilizando-se um secador de leito fixo, validando-o por meio da comparação de resultados simulados com os de testes experimentais;
2. O desenvolvimento de um programa computacional, o qual poderá ser utilizado para prever os resultados relacionados às condições em que a secagem será realizada.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado no Laboratório de Pré-processamento e Armazenamento de Produtos Vegetais do Departamento de Engenharia Agrícola, localizado no campus da Universidade Federal de Viçosa (UFV). Na secagem foram utilizados frutos de abacaxi (*Ananas comosus*), cultivar Pérola com teor inicial de água de 86 % b.u.

Um programa computacional orientado a objetos, com interface do usuário amigável e flexível foi desenvolvido para simular o processo de secagem de abacaxi. A linguagem de programação MS Visual Basic, versão 6, foi utilizada no desenvolvimento do programa computacional.

O modelo matemático da cinética de secagem de abacaxi foi implementado com base no proposto por THOMPSON et al. (1968). Nesse

modelo foi utilizada, como artifício, a divisão do processo de secagem em vários subprocessos. O leito de produto foi considerado como formado por várias camadas de fatias de abacaxi com espessuras reduzidas, colocadas umas sobre as outras. As variações nas condições do ar e da fatia, em cada camada, foram calculadas com base em pequenos incrementos de tempo.

Na Figura 1 está apresentado um esquema ilustrando como ocorreram as variações consideradas na simulação de secagem de uma camada de espessura reduzida, que compõe um leito de produto a ser secado. Quando o ar passa pela camada fina, durante determinado intervalo de tempo, certa quantidade de água do produto é evaporada, passando para o ar. Nesse intervalo, a temperatura do ar diminui, em conseqüência da transferência de calor sensível do ar para o aquecimento do abacaxi, e do calor latente fornecido para evaporação parcial da água do produto. A quantidade de água perdida pelo produto é calculada por meio de uma equação empírica de secagem em camada delgada. As temperaturas finais do ar e do abacaxi, consistentes com o resfriamento evaporativo, são obtidas por meio de balanços de energia.

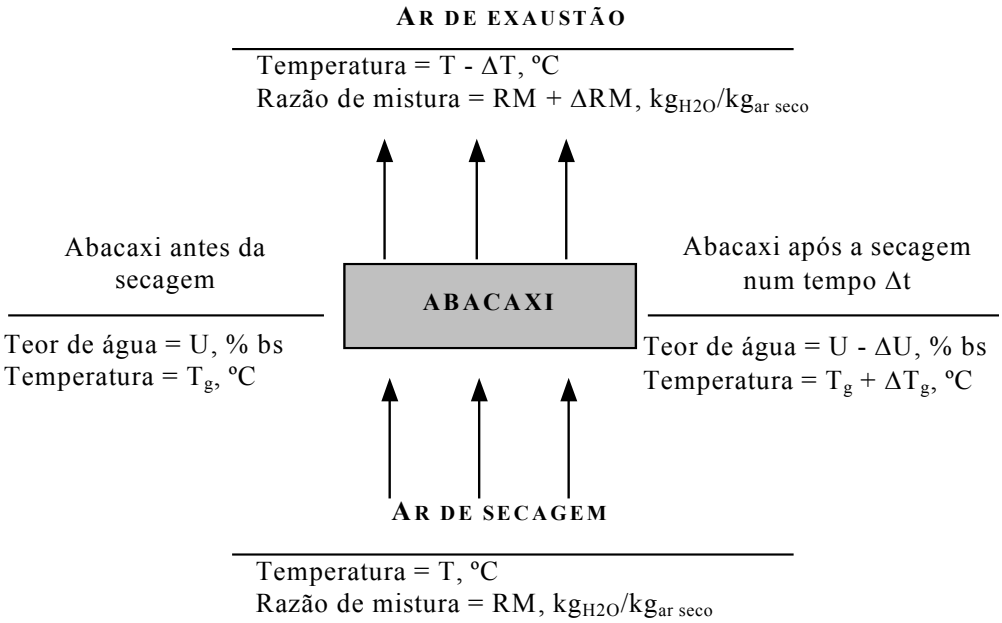


Figura 1: Esquema das variações decorrentes do processo de secagem em camada delgada durante um intervalo de tempo Δt.

Para desenvolver o modelo foram feitas as seguintes suposições: a secagem de uma camada delgada de produto pode ser descrita por uma equação obtida empiricamente; a temperatura da fatia é igual à temperatura do ar que a envolve, após os balanços de energia, que levam em conta o resfriamento proveniente da evaporação da água do produto e das temperaturas das fatias e do ar; o teor de água de equilíbrio das fatias depende da temperatura e da umidade relativa do ar nas vizinhanças destas; a entalpia de vaporização da água nas fatias é constante; a entalpia específica do produto depende do teor de água.

Para modelar a secagem da camada de fatias de abacaxi foram utilizados os procedimentos propostos por SOUZA et al. (2002). Foram executados os seguintes passos: cálculo da umidade de equilíbrio entre o ar e produto; cálculo da umidade de equilíbrio do produto; cálculo do tempo equivalente; cálculo da razão de umidade do produto; cálculo da umidade do produto no tempo t + Δt; cálculo da razão de umidade; cálculo das temperaturas finais do ar e do produto; verificação da consistência dos valores de temperatura final e razão de mistura do ar de saída.

Para o cálculo da temperatura de equilíbrio entre o ar e o produto, foi considerada somente a troca de calor sensível. Para esta determinação, faz-se necessário o seguinte balanço de energia:

$$\begin{aligned} &0{,}24 \cdot T_0 + W_0 \cdot (588 + 0{,}45 \cdot T_0) + C_p \cdot R \cdot (1 + U) \cdot T_{g0} = \\ &0{,}24 \cdot T_e + W_0 \cdot (588 + 0{,}45 \cdot T_e) + C_p \cdot R \cdot (1 + U) \cdot T_{ge} \end{aligned} \qquad (2)$$

em que:

T_0 = Temperatura do ar na entrada da camada de produto, ºC;

W_0 = Razão de mistura do ar na entrada da camada do produto, kg de vapor d'água por kg de ar seco;

T_{g0} = Temperatura do produto no instante t, ºC;

T_e = temperatura do ar em equilíbrio com o produto, ºC;

T_{ge} = temperatura do produto em equilíbrio com o ar, ºC;

U = teor de água do produto no tempo t, decimal b.s.;

C_p = entalpia específica do abacaxi, kJ kg^{-1} $ºC^{-1}$; e

R = razão entre a massa de matéria seca da camada de produto e a massa de ar seco que passa no intervalo de tempo Δt, kg kg^{-1}.

Admitindo-se que a temperatura da fatia era igual à temperatura do ar que o envolve, tem-se a Equação 3:

$$T_{ge} = T_e \tag{3}$$

A razão entre as massas de matéria seca e de ar seco foi determinada por meio da Equação 4:

$$R = \frac{P \cdot v_e \cdot A \cdot \Delta x}{Q \cdot \Delta t \cdot 60 \cdot (1 + U_0)} \tag{4}$$

em que:

U_0 = teor de água inicial, decimal b.s;

Δx = espessura da camada do produto, m;

Δt = incremento de tempo, h;

P = massa específica do produto no início da secagem, kg m^{-3};

Q = vazão de ar, m^3 min^{-1};

A = área da seção transversal, m^2; e

V_e = volume específico do ar, m^3 kg^{-1}.

A entalpia específica do abacaxi foi obtida por MOHSENIN (1980), e tem o valor de 3,6844 kJ kg^{-1} °C^{-1}.

A temperatura de equilíbrio entre o ar de secagem e o produto foi determinada, por THOMPSON et al. (1968), por meio da equação de balanço de calor (Equação 5).

$$T_e = \frac{(0{,}24 + 0{,}45 \cdot RU) \cdot T_0 + C_p \cdot R \cdot (1 + U) \cdot T_{g0}}{0{,}24 + 0{,}45 \cdot RU + C_p \cdot R \cdot (1 + U)} \tag{5}$$

em que:

RU = razão de umidade, adimensional.

Para calcular a umidade de equilíbrio do produto foi necessário determinar primeiramente a umidade relativa do ar. Para isso, foi utilizada a Equação 6 apresentada por BROOKER et al. (1992):

$$U_r = \frac{100 \cdot P_{atm} \cdot W_0}{(0{,}622 + W_0) \cdot P_{vs}} \tag{6}$$

em que:

U_r = umidade relativa do ar, %;

P_{atm} = pressão atmosférica, kPa;

P_{vs} = pressão de vapor de saturação do ar, à temperatura T_e, kPa; e

W_0 = razão de mistura do ar na entrada da camada do produto, kg de vapor d'água por kg de ar seco.

A pressão de vapor de saturação do ar foi determinada utilizando-se a Equação 7, apresentada pela ASAE Standard D271.2 (ASAE, 1998):

$$T_e - 255{,}38 = \sum_{i=0}^{8} A_i \left[\ln\left(0{,}00145 P_{vs}\right)\right]^i \qquad (7)$$

em que:

A_0 = 19,5322;

A_1 = 13,6626;

A_2 = 1,1768;

A_3 = -0,1897;

A_4 = 0,08745;

A_5 = -0,01741;

A_6 = 0,0021477;

A_7 = $-0{,}1383.10^{-3}$; e

A_8 = $0{,}38.10^{-5}$.

Para o cálculo do teor de água de equilíbrio utilizou-se a Equação 8 de GAB, com os parâmetros para o abacaxi, obtidos por NICOLETI (2001):

$$U = \frac{(C-1)K_3 a_w X_m}{1+(C-1)K_3 a_w} + \frac{K_3 a_w X_m}{1-k_3 a_w} \qquad (8)$$

em que:

U = conteúdo de água na camada molecular, % b.s.;

C = constante de Guggenheim; e

K_3 = Constante da equação 8.

Para o cálculo da constante de Guggenheim utilizou-se a Equação 9:

$$C = c_0 \exp\left(\frac{(H_m - H_n)}{RT}\right) \quad (9)$$

em que:

H_m = entalpia específica de sorção da primeira camada, kJ mol^{-1};

H_n = entalpia específica de sorção das multicamadas, kJ mol^{-1};

R = constante universal dos gases = 8,314 x 10^{-3}, kJ mol^{-1} K^{-1};

T = temperatura, K; e

c_0 = Constante.

Para o cálculo da constante K_3 utilizou-se a Equação 10:

$$K_3 = k_0 \exp\left(\frac{(\lambda - H_n)}{RT}\right) \quad (10)$$

em que:

k_3 = constante da equação 07

K_o = constante da equação

λ = calor de condensação da água pura, kJ mol^{-1}

As constantes da Equação de GAB para o abacaxi são mostrados na Tabela 1

Tabela 1: Constantes da Equação de GAB

Temperatura °C	Parâmetros do Modelo GAB						
	U % b.s.	C	C_0	$\Delta Hc = (H_m - H_n)$ kJ mol^{-1}	K_3	K_0	$\Delta Hk = (\lambda - Hn)$ kJ mol^{-1}
40	81,79	0,132			0,713		
50	13,19	0,526			0,899		
60	6,33	1,110	5,26x 10^4	-30,24	1,003	33,84	-9,66
70	6,37	0,850			1,022		

Fonte: NICOLETI (2001). Em que: U é conteúdo de água na camada molecular, % b.s., C é a constante de Guggenheim, C_0 é uma constante, H_m é a entalpia específica de sorção da primeira camada, kJ mol^{-1}, H_n é a entalpia específica de sorção das multicamadas, kJ mol^{-1} k_3 é a constante da equação 07, K_o é a constante da equação 8, λ é o calor de condensação da água pura, kJ mol^{-1}.

O tempo equivalente é definido como o intervalo de tempo que o produto deveria ficar exposto às condições existentes, no tempo t (T_e, W_0), para que o teor de água fosse reduzido do valor inicial (U_0) para o valor atual (U). Para se determinar o tempo equivalente na secagem de abacaxi usou-se a Equação 11:

$$RU = \frac{U - U_e}{U_0 - U_e} = \exp\left(-k.t_{eq}\right) \tag{11}$$

em que:

t_{eq} = tempo de secagem, h; e

k = parâmetro dependente da temperatura do ar, s^{-1}.

Nas equações empíricas de secagem em camada delgada podem aparecer outras variáveis, como por exemplo, o teor inicial de água do produto e/ou a velocidade do ar. Em algumas equações o efeito da umidade relativa do ar é desprezado. A razão de umidade do produto foi calculada para o tempo t, conforme a Equação 12.

$$RU_0 = \frac{U - U_e}{U_0 - U_e} \tag{12}$$

A razão de umidade do produto nas condições de ar T_e e W_0, durante um intervalo de tempo Δt, foi determinada pela equação empírica de secagem em camada delgada, Equação 13:

$$RU_f = f\left(T_e, UR, t_e + \Delta t\right) \tag{13}$$

em que:

RU_f = razão de umidade final do produto, adimensional.

A umidade do produto no tempo t + Δt foi determinada conforme a Equação 14:

$$U_f = RU_f \cdot \left(U_0 - U_e\right) + U_e \tag{14}$$

em que:

U_f = teor final de água do produto na camada, no tempo t + Δt, decimal b.s.

A razão de mistura do ar consistente com a perda de umidade do produto foi determinada por um balanço de massa utilizando a Equação 15:

$$W_f = W_0 + R \cdot (U - U_f) \tag{15}$$

em que:

W_f = razão de mistura do ar na saída da camada de sementes, kg de vapor d'água por kg de ar seco.

As temperaturas finais do ar e do produto foram determinadas por meio de um balanço de energia que leva em conta a perda de umidade do produto conforme Equação 16:

$$\begin{aligned} &0{,}24 \cdot T_e + W_0 \cdot (588 + 0{,}45 \cdot T_e) + C_p \cdot R \cdot (1 + U) \cdot T_{ge} + (W_f - W_0) \cdot T_{ge} = \\ &0{,}24 \cdot T_f + W_f \cdot (588 + 0{,}45 \cdot T_f) + C_p \cdot R \cdot (1 + U) \cdot T_{gf} + (W_f - W_0) \cdot \Delta L_v \end{aligned} \tag{16}$$

em que:

T_f = temperatura do ar saindo da camada do produto, ºC;

T_{gf} = temperatura do produto na camada no tempo t + Δt, ºC; e

ΔL_v = entalpia latente de vaporização acima do valor para evaporação da água livre, kJ kg^{-1} de água.

A entalpia de vaporização da água no abacaxi foi obtida por MOHSENIN (1980), sendo seu valor de 283,772 kJ kg^{-1}.

O primeiro e o segundo termo de cada lado da Equação 16 representa as entalpias inicial e final do ar. O terceiro termo de cada lado da equação representa a energia contida no produto, nos tempos t e t + Δt. O quarto termo do lado esquerdo da igualdade representa a quantidade de energia contida na água que está sendo retirada do produto. O último termo da equação representa a quantidade de energia adicional necessária para evaporar a água do produto, acima da quantidade necessária para evaporar a água livre.

Admitindo-se que a temperatura do produto é igual à do ar que a envolve, tem-se a Equação 17:

$$T_{gf} = T_f \tag{17}$$

Explicitando T_f, na Equação 17, obtém-se a Equação 18

$$T_f = \frac{(0{,}24 + 0{,}45 \cdot W_0) \cdot T_e - (W_f - W_0) \cdot (588 + \Delta L_v - T_e) + C_p \cdot R \cdot (1 + U) \cdot T_e}{0{,}24 + 0{,}45 \cdot W_f + C_p \cdot R \cdot (1 + U)} \tag{18}$$

Efetuados os cálculos, é necessário verificar se o resultado obtido é factível. Em certos casos, podem-se obter resultados em que a umidade relativa do ar, determinada matematicamente, é superior a 100 %. Se isso ocorrer, novos balanços de massa e de energia deverão ser feitos, simulando a condensação de água no produto.

Nesses novos balanços, o ponto de estado T_f e W_f, não factível, será corrigido para o ponto de estado T_f^* e W_f^*. Esses novos balanços são representados pelas Equações 18 e 19.

$$\begin{aligned} &0{,}24 \cdot T_f + W_f \cdot (588 + 0{,}45 \cdot T_f) + (W_f^* - W_f) \cdot T_f + C_p \cdot R \cdot (1 + U) \cdot T_f = \\ &0{,}24 \cdot T_f^* + W_f^* \cdot (588 + 0{,}45 \cdot T_f^*) + C_p \cdot R \cdot (1 + U) \cdot T_f^* \end{aligned} \tag{19}$$

Na Equação 19, existem duas variáveis a serem determinadas, T_f^* e W_f^*. A outra condição usada para tornar possível a determinação do ponto de estado factível, é que a umidade relativa determinada matematicamente seja, no máximo, igual a 100 %.

A quantidade de água condensada no produto faz com que o seu teor de água passe a ser U_f^* (Equação 20):

$$U_f^* = U_f - \frac{W_f^* - W_f}{R} \tag{20}$$

Procedimentos experimentais

Selecionaram-se os frutos de abacaxi (*Ananas comosus*), variedade ‘pérola’, atendendo aos padrões comerciais de qualidade e obtidos no CEASA de

Belo Horizonte no dia anterior ao processamento. Procurou-se um produto com a mesma coloração da casca e estes apresentaram aproximadamente o mesmo teor de sólidos solúveis totais.

As etapas de produção foram realizadas de acordo com o cronograma da Figura 2 (CORNEJO et al., 2003).

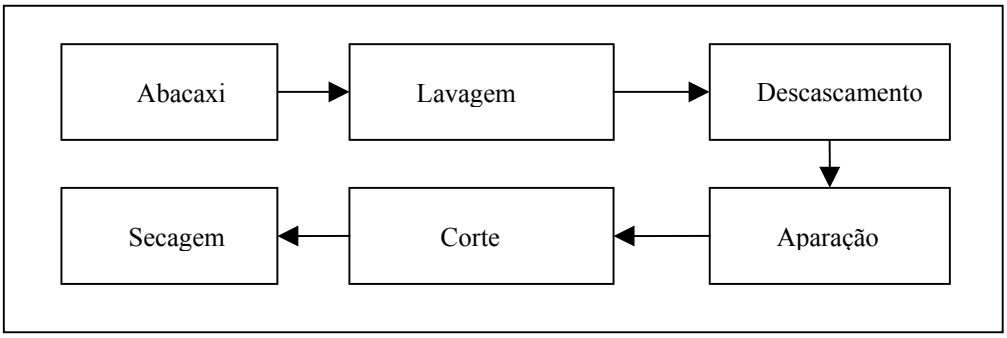


Figura 2: Etapas da produção de abacaxi.

Efetuou-se a pré-lavagem dos frutos com água potável para remover sujeiras e outros materiais estranhos. Reduziu-se a carga microbiana das cascas, imergindo as frutas em água clorada de concentração de 10 ppm de cloro, por dez minutos. A solução foi preparada adicionando-se 50 ml de solução concentrada a 10 % de hipoclorito de sódio para cada 5 L de água filtrada. Fez-se a lavagem propriamente dita por imersão em tambores plásticos. Descascou-se o produto manualmente.

Eliminaram-se as pontas, outras extremidades e possíveis fragmentos do produto provenientes da etapa anterior. Cortou-se o abacaxi em fatias de aproximadamente 0,01 m e estas foram cortadas em metades.

Determinou-se, após o corte, o teor de umidade do produto em estufa, a 105 °C, ± 2 °C pela técnica gravimétrica baseada na perda de peso das amostras até peso constante, conforme as Normas Analíticas do INSTITUTO ADOLFO LUTZ (1985).

Utilizou-se um secador cilíndrico de bancada, tipo leito fixo, com controle automático da temperatura do ar de secagem, composto por um ventilador de 372,85 W, resistências elétricas e bandeja com diâmetro de 0,335 m, conforme a Figura 4. Movimentou-se o ar perpendicularmente ao sentido da bandeja.

Reduziu-se, por meio da secagem com ar aquecido e circulação forçada até um teor de água final de aproximadamente 20 % b.u.

Utilizaram-se as temperaturas do ar de secagem, as quais variaram de 60, 65 e 70 °C e a velocidade do ar de secagem de 0,5; 0,75 e 1,00 m s^{-1} conforme descrito na Tabela 2. Utilizaram-se três secagens para cada tratamento. Nas indústrias normalmente se utilizam para a secagem de abacaxi a temperatura de 70 °C e a velocidade do ar de secagem de 1 m s^{-1}.

A velocidade do ar de saída no secador foi mensurada com um termoanemômetro, com o sistema de aquecimento de ar desligado. Na saída do ar de exaustão, cujo diâmetro era de 0,335 m de comprimento, foi dividida em 12 pontos de leitura, conforme Figura 4. O peso do produto foi mensurado em uma balança digital em intervalos de trinta minutos.

Mensurou-se as temperaturas do ar ambiente (temperatura de bulbo seco e bulbo úmido) e do ar de exaustão nos pontos a, b e c respectivamente por meio de termopares tipo T, conforme mostra a Figura 3. Para o monitoramento da temperatura dos termopares, foi utilizado um sistema automático de aquisição de dados, onde os dados de leitura foram visualizados e salvos em um microcomputador em intervalos regulares de um minuto.

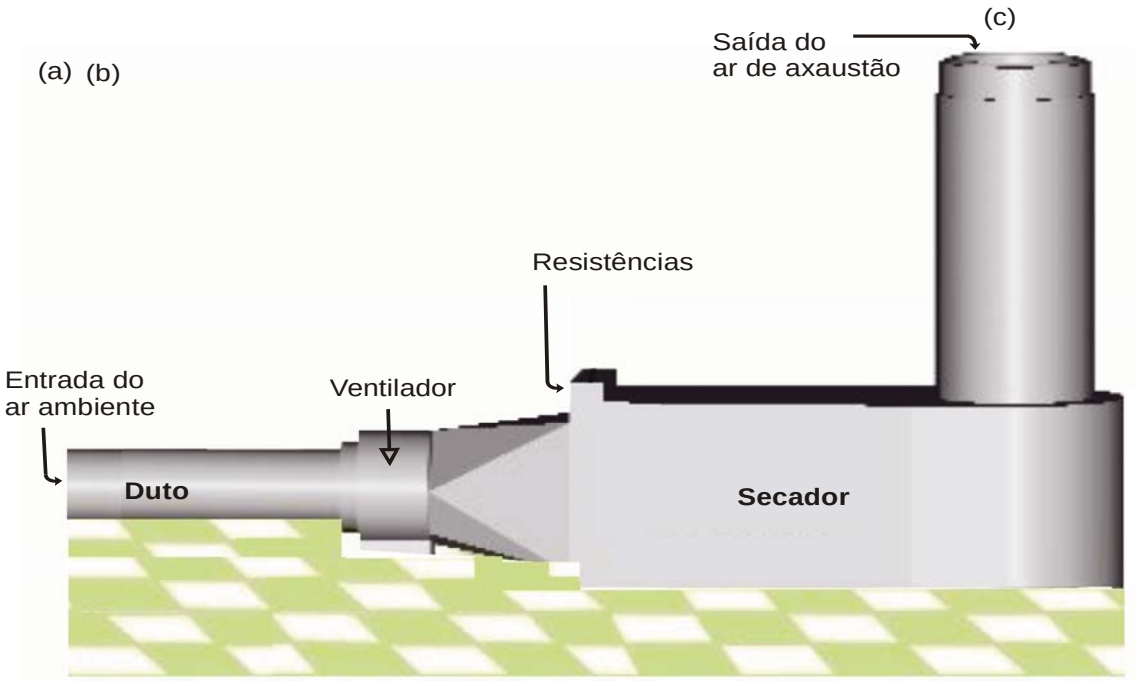


Figura 3: Vista do secador utilizado na secagem de abacaxi.

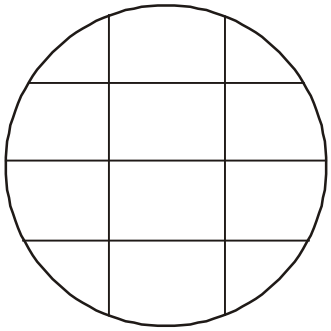


Figura 4: Vista da saída do ar de exaustão reticulada para mensurar a velocidade do ar.

Tabela 2: Disposição dos tratamentos em relação à temperatura e velocidade do ar de secagem

Tratamento	Temperatura (^oC)	Velocidade ($m\ s^{-1}$)
1	70	1,00
2	70	0,75
3	70	0,50
4	65	1,00
5	65	0,75
6	65	0,50
7	60	1,00
8	60	0,75
9	60	0,50

Validação do modelo

Para avaliar os desvios entre os resultados simulados e os obtidos experimentalmente, utilizou-se o erro relativo médio, o erro-padrão, o coeficiente de determinação e o coeficiente de variação.

O erro relativo médio, conforme a Equação 21:

$$\bar{e} = \frac{\sum \left[\frac{Y_j - Y_1}{Y_1} \right]}{n} \qquad (21)$$

em que:

$\bar{e}$ = erro relativo médio;

Y_j = valor obtido experimentalmente;

Y_1 = valor simulado;e

n = número de dados.

O coeficiente de determinação (R^2) é fornecido pelas Equações 22 a 24:

$$SQregr = \frac{\left(\frac{\sum(Y_1, Y_j) - \left(\sum Y_1 * \sum Y_j\right)}{n}\right)^2}{\sum Y_j^{\,2} - \left(\frac{\left(\sum Y_1\right)^2 - \sum Y_1^{\,2}}{n}\right)} \tag{24}$$

$$SQTotal = \sum Y_j^{\,2} - \left(\frac{\left(\sum Y_j\right)^2}{n}\right) \tag{25}$$

$$R^2 = \frac{SQ_{regr}}{SQ_{total}} \tag{26}$$

em que:

SQ_{reg} = Soma do quadrado da regressão

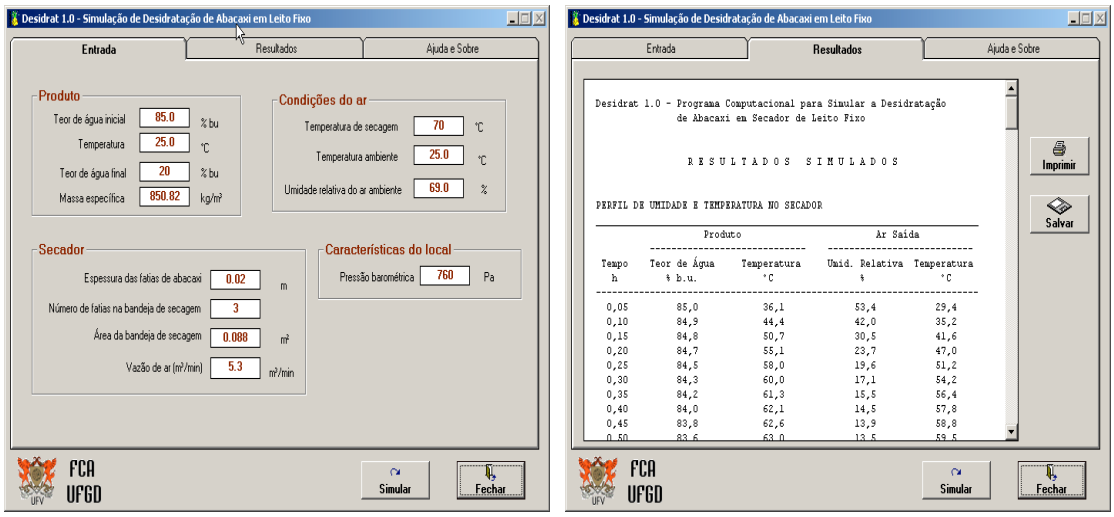
SQ_{total} = Soma do quadrado total

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 5 é apresentada a janela de entrada e saída de dados do programa de computador implementado, este programa foi denominado Desidrat 1.0 – Simulação de Desidratação de Abacaxi em Leito Fixo. O usuário deve fornecer os dados relativos ao sistema a ser simulado, caracterizando os dados do produto, secador, condições iniciais do ar de secagem e características do local. Em seguida, aciona-se o botão S*imular* e os resultados serão exibidos no Quadro *Resultados*. Os resultados fornecidos pelo programa são: o tempo de secagem, teor de água do produto em função do tempo, temperatura do produto em função do tempo, e os dados em relação ao ar de saída (umidade relativa e temperatura)

em função do tempo; além da massa inicial de produto no secador, água retirada durante a secagem, a energia consumida para o aquecimento do ar de secagem, consumo específico de energia, tempo total de secagem, teor de água final e fluxo de ar.

Em anexo a este trabalho encontra-se o programa fonte do Desidrat 1.0.



(a) (b)

Figura 5: Janela de entrada (a) e saída (b) dos dados do programa de computador desenvolvido.

As curvas de simulação de secagem de abacaxi, utilizando-se o modelo proposto por THOMPSON et al. (1967), bem como os pontos obtidos experimentalmente e a correspondência entre os mesmos são apresentadas nas Figuras de 6 a 23. Também está representado o coeficiente de correlação (R^2) e o erro relativo médio (E_m)

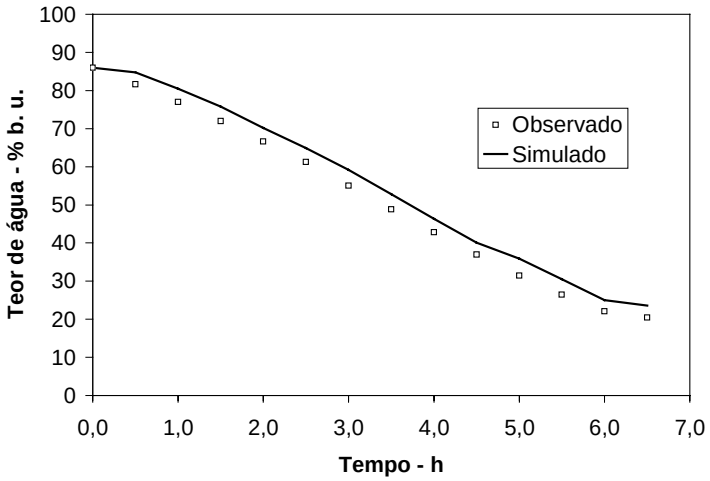


Figura 6: Resultados observados e simulados do teor de água em relação ao tempo no tratamento 1.

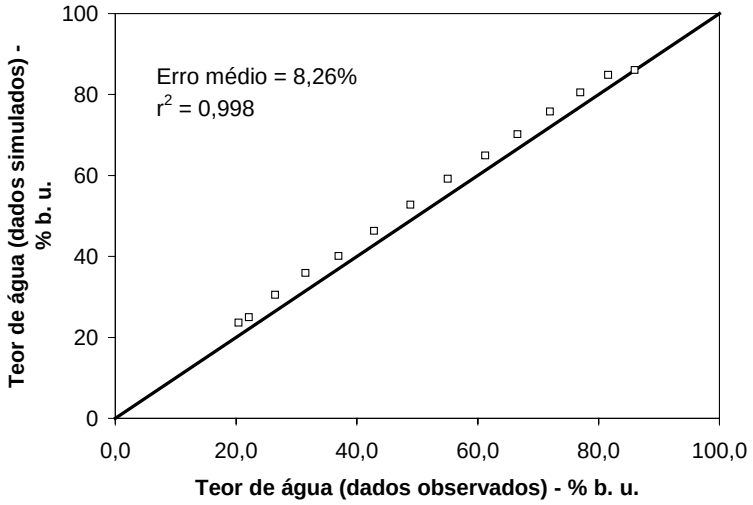


Figura 7: Correspondência entre valores observados e simulados do teor de água do produto para o tratamento 1.

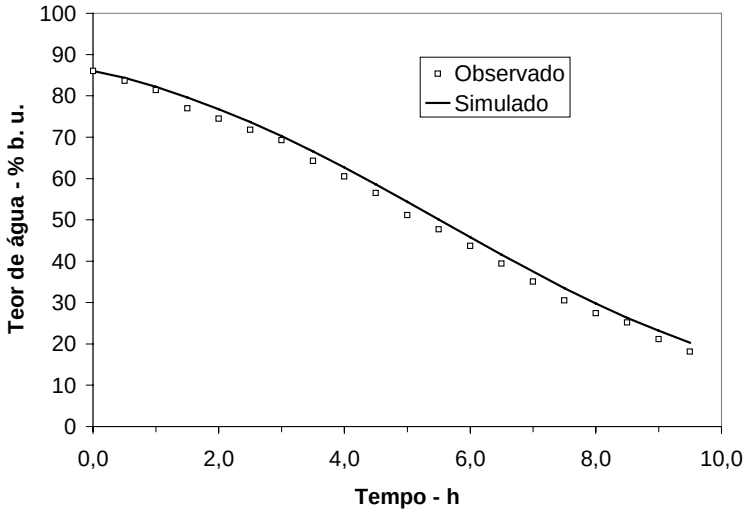


Figura 8: Resultados observados e simulados do teor de água em relação ao tempo no tratamento 2.

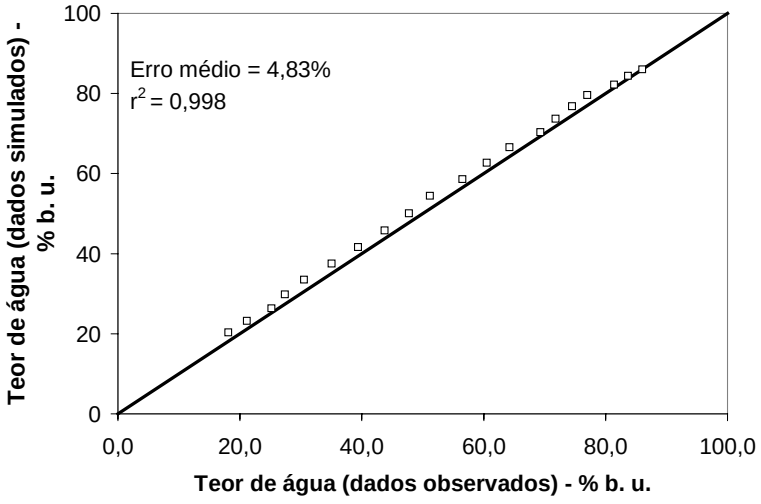


Figura 9: Correspondência entre valores observados e simulados do teor de água do produto para o tratamento 2.

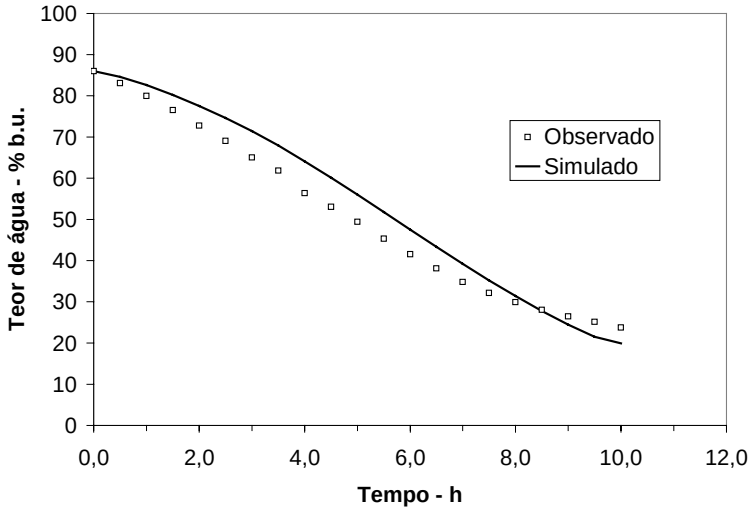


Figura 10: Resultados observados e simulados do teor de água em relação ao tempo no tratamento 3.

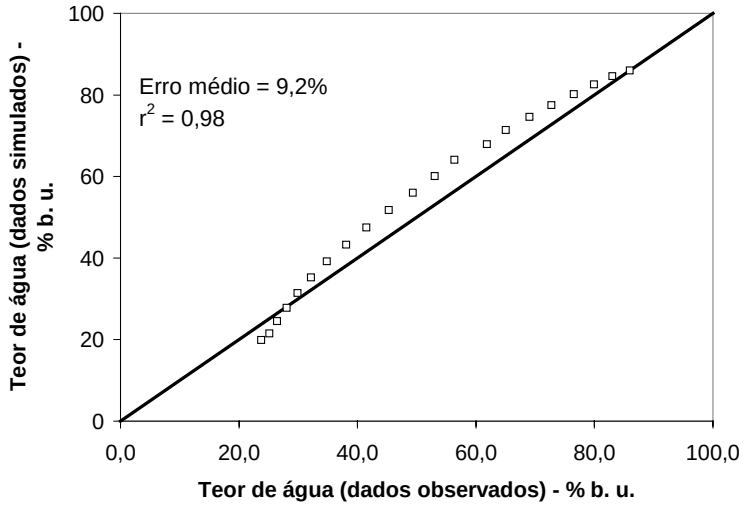


Figura 11: Correspondência entre valores observados e simulados do teor de água do produto para o tratamento 3.

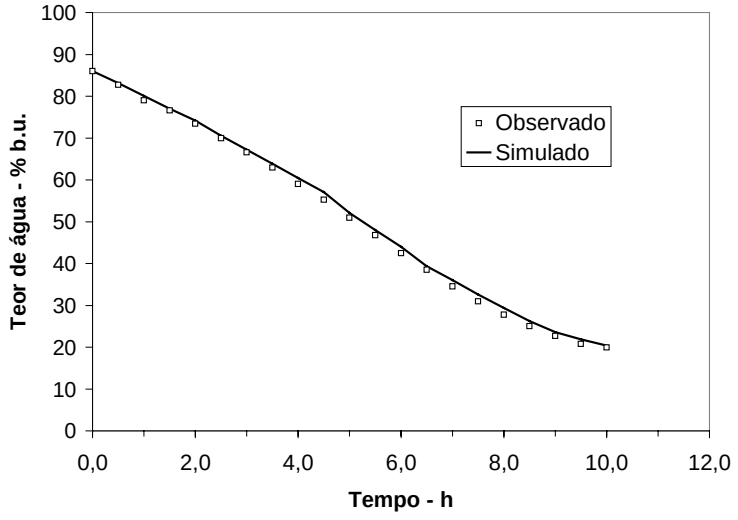


Figura 12: Resultados observados e simulados do teor de água em relação ao tempo no tratamento 4.

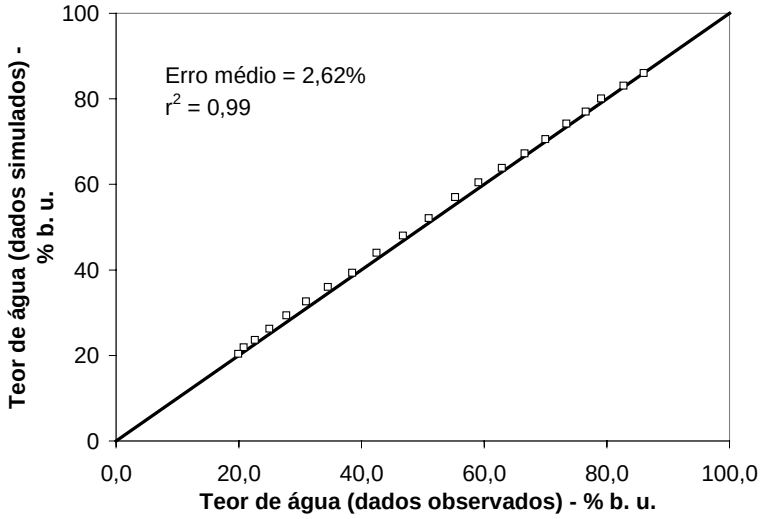


Figura 13: Correspondência entre valores observados e simulados do teor de água do produto para o tratamento 4.

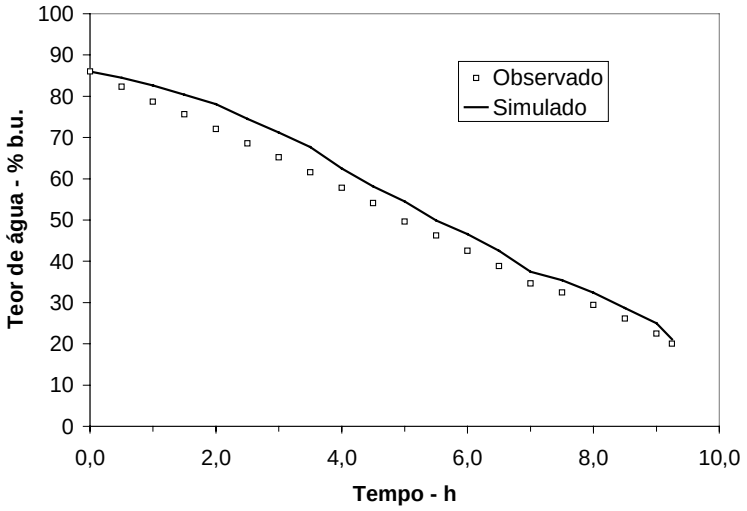


Figura 14: Resultados observados e simulados do teor de água em relação ao tempo no tratamento 5.

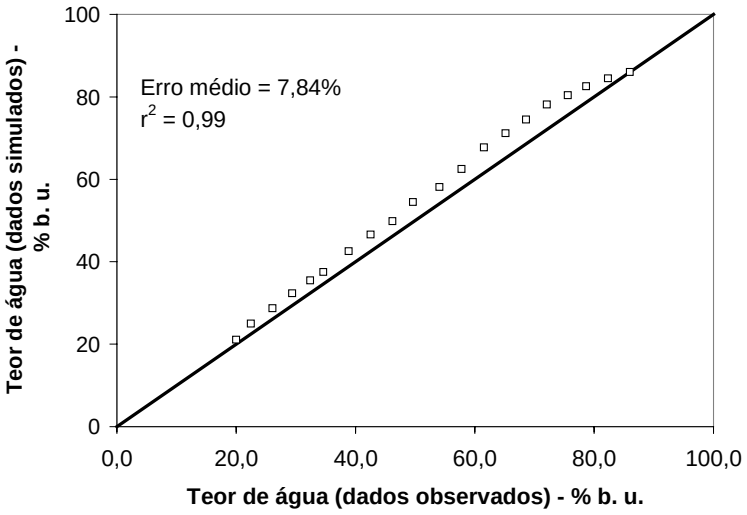


Figura 15: Correspondência entre valores observados e simulados do teor de água do produto para o tratamento 5.

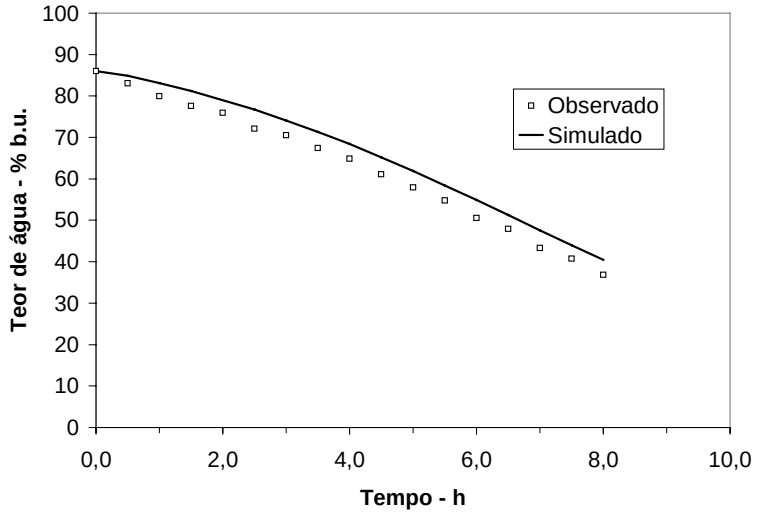


Figura 16: Resultados observados e simulados do teor de água em relação ao tempo no tratamento 6.

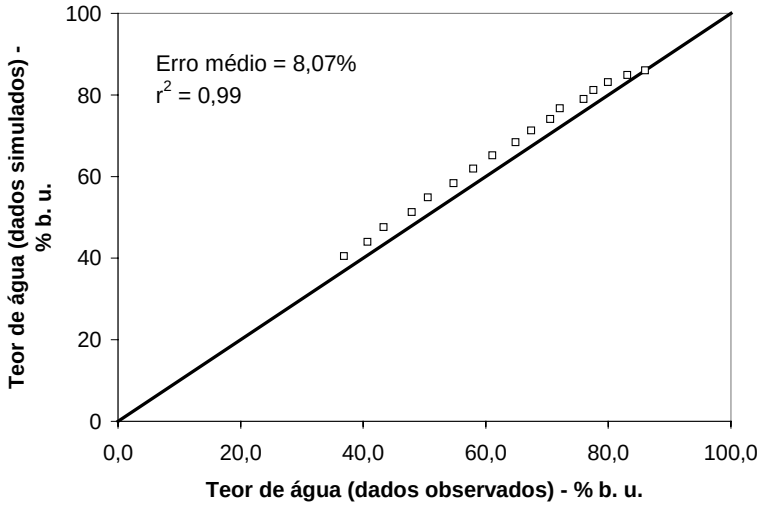


Figura 17: Correspondência entre valores observados e simulados do teor de água do produto para o tratamento 6.

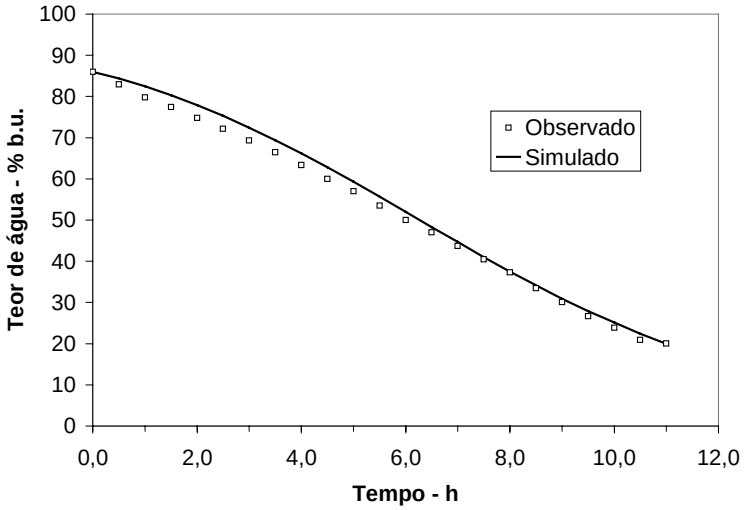


Figura 18: Resultados observados e simulados do teor de água em relação ao tempo no tratamento 7.

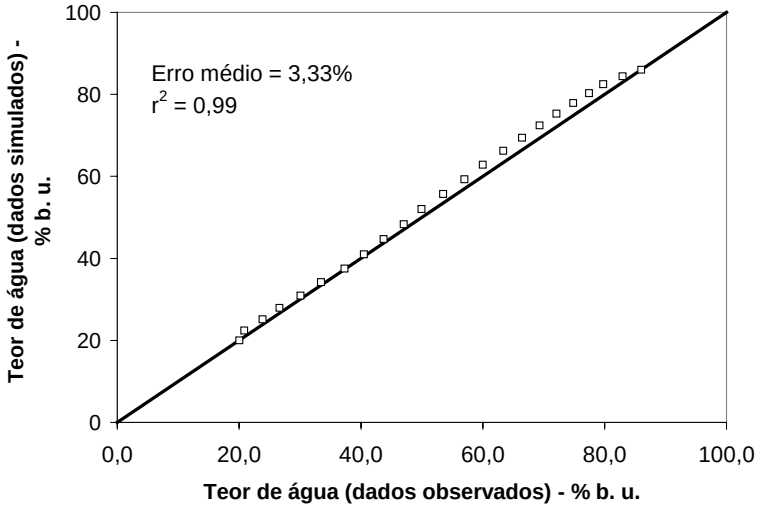


Figura 19: Correspondência entre valores observados e simulados do teor de água do produto para o tratamento 7.

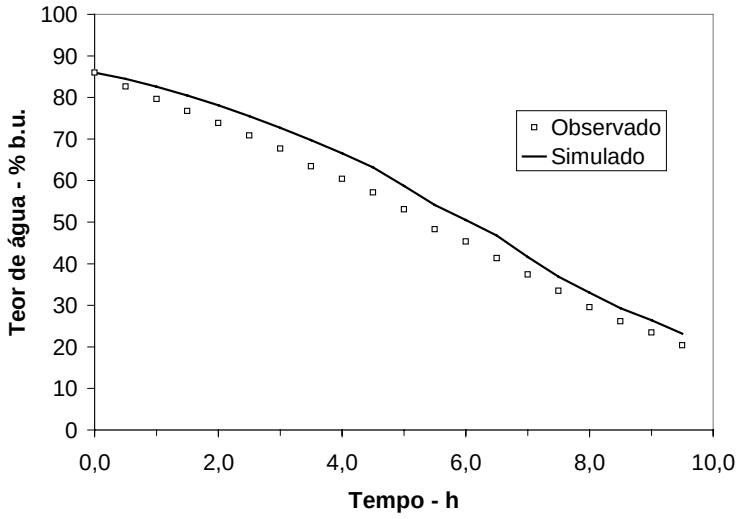


Figura 20: Resultados observados e simulados do teor de água em relação ao tempo no tratamento 8.

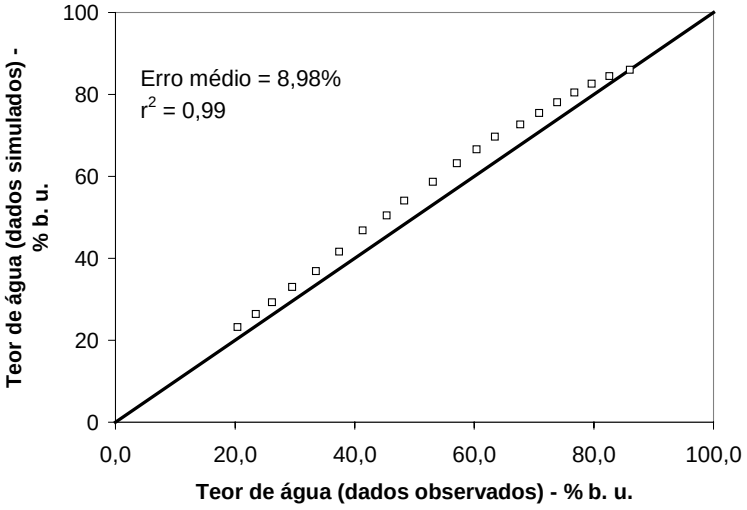


Figura 21: Correspondência entre valores observados e simulados do teor de água do produto para o tratamento 8.

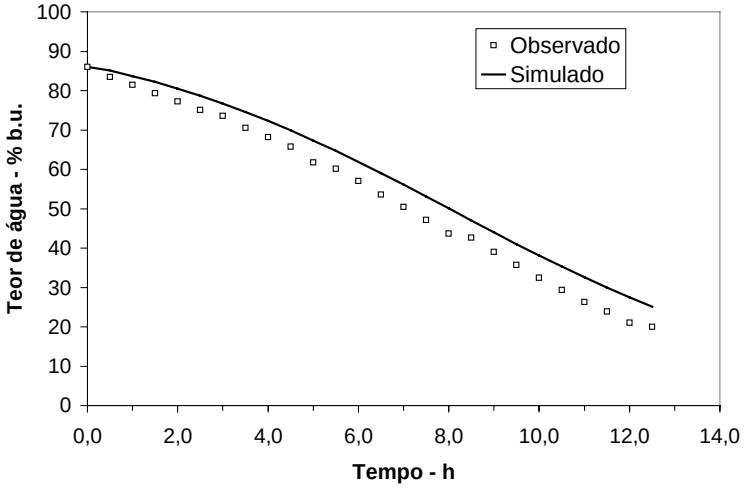


Figura 22: Resultados observados e simulados do teor de água em relação ao tempo no tratamento 9.

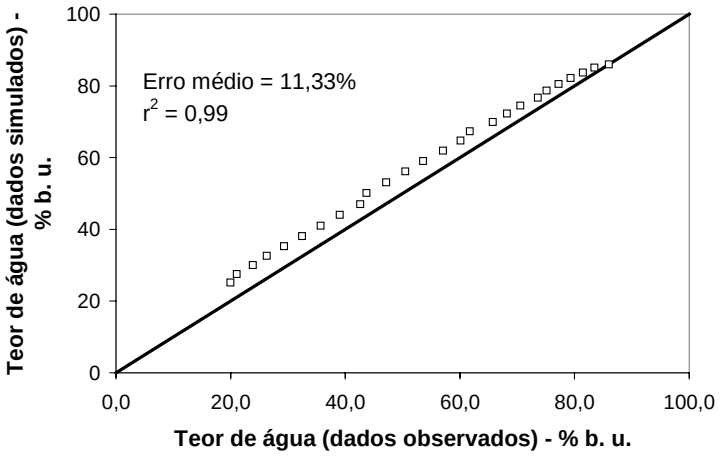


Figura 23: Correspondência entre valores observados e simulados do teor de água do produto para o tratamento 9.

De um modo geral pode-se verificar que os resultados simulados mostraram-se superiores aos obtidos experimentalmente, com valor do erro relativo médio igual a 7,16 % e coeficientes de determinação próximos de 0,99 indicam que o comportamento das curvas dos dados observados e simulados foi semelhante.

Pode-se observar que apenas a curva representando os resultados simulados do tratamento 3 superestimou a taxa de secagem no período entre 0 e 09 horas, e subestimou a partir desse período (Figuras 10 e 11).

Estes fatos demonstram que o modelo de simulação desenvolvido é um modelo consistente, podendo esse ser usado na simulação da secagem de abacaxi em leito fixo. O que o erro relativo médio apresentado foi menor que o considerado satisfatório por MATA & DANTAS (1998) e SOUZA et al. (2002), o qual não deve ultrapassar 20 %.

O erro relativo médio pode ser verificado pela tendência apresentada pelas curvas dos dados simulados e observados. É possível que sua causa seja devida ao grande encolhimento experimentado pelo produto ao ser submetido à secagem. O modelo de THOMPSON et al. (1968) não considera o encolhimento do produto. A grande redução de volume do abacaxi, ao ser submetido à secagem, pode estar interferindo nos resultados calculados. Possíveis melhorias poderiam ser obtidas caso se utilizasse um modelo que considerasse o encolhimento do produto devido à secagem. Porém, o uso de tal modelo poderia levar a um aumento do grau de dificuldade para sua solução. O modelo utilizado também adota que o abacaxi possui a mesma temperatura do ar que as cercam, após os balanços de massa e energia, levam em conta o resfriamento proveniente da evaporação da água do produto e das temperaturas iniciais do produto e do ar.

No entanto, quando se trabalha com a secagem em camada espessa o modelo de THOMPSON et al. (1968) demonstra ser viável, visto que o modelo é dividido em subcamadas e estas podem ser comparadas às bandejas utilizadas nos secadores das indústrias de frutas desidratadas.

CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos pode-se concluir que:

1. O modelo matemático proposto por Thompson adaptado para a secagem de abacaxi em pedaços usando secador de leito fixo, mostrou-se viável e apresentou precisão satisfatória e é válido para simular a secagem de abacaxi;
2. O programa computacional desenvolvido, Desidrat 1.0, pode ser utilizado para prever os resultados relacionados às condições em que a secagem foi realizada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFONSO JR., P.C. Aspectos físicos, fisiológicos e de qualidade do café em função da secagem e do armazenamento. Viçosa: Dissertação de Doutorado em Engenharia Agrícola, Faculdade de Engenharia Agrícola, UFV - Universidade Federal de Viçosa (UFV), 2001.

AGUERRE, R.J.; SUÁREZ, C.; VIOLLAZ P.E. Modeling temperature dependence of food sorption isotherms. **Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie**, London, v.22, n.1, p. 1-5, 1989.

ALVARENGA, L.C.; FORTES, M.; PINHEIRO FILHO, J.B.; HARA, T. Transporte de umidade no interior de grãos de feijão-preto sob condição de secagem. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, v.5, n.1, p.5-18, 1980.

ASAE - AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. **ASAE Standards D271.2**. St. Joseph: ASAE, 1998. p.24-31.

BABALIS, S.J., VELESSIOTIS, V.G. Influence conditions on the drying constants and moisture diffusivity during the thin-layer drying of figs. **Journal of Food Engineering**, 65:449-458, 2004.

BROOKER, D.B.; BAKKER-ARKEMA, F.W.; HALL, C.W. **Drying and storage of grains and oilseeds.** Westport: The AVI Publishing Company, 1992. 450 p.

CONDE, F.M. Simulação de secagem de cenoura (*Daucus carota* L.) em secador de bandeja. Viçosa-MG: UFV, 2004. 78p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos), Universidade Federal de Viçosa, 2004.

BROOKER, D.B., BAKKER-ARKEMA, F.W., HALL, C.M. **Drying and storage of grains and oilseeds**. New York: Van Nostrand Reinhold. 1992. 450p.

CHEN, C.; JAYAS, D.S. Evaluation of the GAB equation for the isotherms of agricultural products. **Transactions of ASAE**, St. Joseph, v.41, n.6, p. 1755-1760, 1998.

CORNEJO, F., MACHACO, R., NOGUEIRA, R.I; WILBERG, V.C. **Iniciando um pequeno grande negócio agroindustrial: frutas desidratadas**. Brasília: EMBRAPA. 2003.

SOYSAL, Y.; ÖZTEKIN, S. Equilibrium moisture content equations for some medicinal and aromatic plants. **Journal Agricultural Engineering Research**, London, v.74, n.3, p.317-324, 1999.

CORRÊA, P.C.; MARTINS, J.H.; CHRIST, D.; MANTOVANI, B.H.M. Curvas de dessorção e calor latente de vaporização para as sementes de milho de pipoca (*Zea mays*). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.2, n.1, p.75-79, 1998.

FIOREZE, R., MORINI, B. Yam (*Discorea* sp) drying with different cuts and temperatures: experimental and simulated results. Ciência e Tecnologia de Alimentos. v.20, n.2. maio/ago, 2000.

FORTES, M.; OKOS, M.R. Heat and mass transfer in hygroscopic capillary extruded products. **AICHE Journal**, St. Joseph, v.27, n.2, p.102-113, 1981.

HAWLADER, M.N.A., UDDIN, M.S., HO, J.C., TENG. A.B.W. Drying characteristics of tomatoes. **Journal of Food Engineering**, 14:259-268, 1991

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz**: métodos químicos e físicos para análise de alimentos. 3.ed., São Paulo, v.1, 1985. 533p.

JAYAS, D.S.; CENKOWSKI, S.; PABIS, S.; MUIR, W. Review of thin-layer drying and wetting equations. **Drying Technology**, New York, v.9, n.3, p.551-588, 1991.

MATA, M.E.R.M.C., DANTAS, L.A. Modelo de simulação de secagem de cacau (*Theobroma cacao* L.) em camada fixa. **Revista Brasileira de Armazenamento**, v.23, p.52-60, 1998.

MOREY, V.; WILCKE, W.F.; MERONUCK, R.A., LANG, J.P. Relationship between equilibrium relative humidity and deterioration of shelled corn. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.38, n.4, p. 1139-1145,1995.

MOSHSENIN, N.N. **Thermal properties of foods and agricultural materials**. London: Gordon and Breach Science Publishers, 1980.

NICOLETTI, J.F. **Cinética de secagem e encolhimento de fatias de abacaxi**. São José do Rio Preto, SP: UNESP, 2001. 60p. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos) – Universidade Estadual Júlio de Mesquita, 2001.

PARK, K.J., MORENO, M.K., BROD, F.P.R. Estudo de secagem de pêra bartlett (Pyrus sp.) em fatias. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.21, n.3, p.288-292, 2001.

PARRY, J.L. Matematical modelling and computer simulation of heat and mass trnasfer in agricultural grain drying: a review. Journal of Agricultural Engeneering Research, 32:1-29, 1985.

ROSSI, S.J.; ROA, G. **Secagem e armazenamento de produtos agropecuários com o uso de energia solar e ar natural**. São Paulo: ACIESP, 1980. 295p. (Publicação ACIESP, 22).

SILVA, J.S. **Secagem e armazenagem de produtos agrícolas**. Viçosa, Aprenda Fácil, 2000. 502 p.

SOUZA, C.M.A., QUEIROZ, D.M., LACERDA FILHO, A.F. Simulação do processo de secagem de sementes de milho em camada fixa. **Scientia Agrícola**, v.59, n.4, p.653-660, out./dez., 2002.

SUN, D.W.; WOODS J.L. The selection of sorption isotherm equations for wheat based on the fitting of available data. **Journal of Stored Products Research**, London, v.30, n.1, p.27-43, 1994.

TALIB, M.Z.M.; DAUD, W.R.W.; IBRAHIM, M.H. Moisture desorption isotherms of cocoa beans. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.38, n.4, p.1153-1155, 1995.

THOMPSON, T.L., PEART, R.M., FOSTER, G.H. Mathematical simulation of corn drying. A new model. **Transaction of the ASAE**, v.11, p.582-586, 1968.

TOGRUL, I.T., PEHLIVAN, D. Modelling of thin layer drying kinets of some fruits under open-air sun drying process. **Journal of Food Engineering**, 65:413,425, 2004.

WANG, N.; BRENNAN, J.G. Changes in structure, density and porosity of potato during dehydration. **Journal of Food Engineering**, London, v.24, n.1, p.61-76, 1995.

APÊNDICE I

Tabela 1: Resultados das propriedades acidez total titulável, sólidos solúveis totais e da relação SST/ATT do abacaxi variedade pérola "in natura" e desidratado

Trat.	Rep.	ATT		SST		SST/ATT	
		in natura	desidratado	in natura	desidratado	in natura	desidratado
1	1	13,88	10,21	17,00	22,00	1,22	2,16
	2	13,56	10,10	17,00	21,00	1,25	2,08
	3	13,50	10,00	17,00	22,00	1,26	2,20
2	1	11,38	10,00	16,00	21,00	1,41	2,10
	2	11,00	9,80	16,00	21,00	1,45	2,14
	3	11,42	9,79	16,00	20,00	1,40	2,04
3	1	10,62	9,80	17,00	22,00	1,60	2,24
	2	10,80	10,00	17,00	22,00	1,57	2,20
	3	10,79	10,01	16,00	21,00	1,48	2,10
4	1	11,27	10,50	16,00	23,00	1,42	2,19
	2	11,42	10,37	16,00	22,00	1,40	2,12
	3	11,76	10,47	16,00	23,00	1,36	2,20
5	1	11,53	9,71	17,00	22,00	1,47	2,27
	2	11,38	9,78	17,00	22,00	1,49	2,25
	3	11,11	9,52	16,00	23,00	1,44	2,42
6	1	17,00	11,87	16,00	21,00	0,94	1,77
	2	16,83	11,53	16,00	21,00	0,95	1,82
	3	16,88	11,88	16,00	22,00	0,95	1,85
7	1	11,00	9,82	16,00	22,00	1,45	2,24
	2	11,10	9,90	17,00	21,00	1,53	2,12
	3	11,42	9,78	16,00	23,00	1,40	2,35
8	1	10,57	8,41	16,00	22,00	1,51	2,62
	2	10,00	7,69	16,00	22,00	1,60	2,86
	3	10,31	7,00	16,00	22,00	1,55	3,14
9	1	8,74	7,84	17,00	21,00	1,95	2,68
	2	8,91	7,92	17,00	23,00	1,91	2,90
	3	9,88	7,92	17,00	21,00	1,72	2,65

Tabela 2: Resultados das propriedades pH e atividade da água do abacaxi variedade pérola "in natura" e desidratado

Trat.	Rep.	pH		Aw	
		in natura	desidratado	in natura	desidratado
1	1	3,73	3,62	0,89	0,62
	2	3,75	3,62	0,91	0,61
	3	3,75	3,62	0,91	0,61
2	1	3,79	3,82	0,92	0,62
	2	3,81	3,91	0,92	0,62
	3	3,82	3,86	0,93	0,62
3	1	3,71	3,80	0,91	0,63
	2	3,69	3,79	0,92	0,63
	3	3,71	3,81	0,93	0,63
4	1	3,92	3,99	0,93	0,63
	2	3,89	3,99	0,92	0,62
	3	3,89	3,94	0,92	0,62
5	1	3,97	3,52	0,92	0,63
	2	3,91	3,55	0,93	0,61
	3	3,92	3,50	0,93	0,61
6	1	3,62	3,75	0,92	0,62
	2	3,64	3,72	0,93	0,62
	3	3,62	3,81	0,93	0,62
7	1	3,83	3,91	0,93	0,63
	2	3,83	3,92	0,93	0,63
	3	3,85	3,94	0,93	0,63
8	1	3,73	3,77	0,93	0,63
	2	3,74	3,77	0,93	0,63
	3	3,74	3,76	0,93	0,63
9	1	4,08	4,09	0,93	0,62
	2	4,07	4,11	0,92	0,62
	3	4,07	4,11	0,93	0,62

Tabela 3: Resultados das propriedades da cor - coordenada L*, matiz e croma do abacaxi variedade pérola "in natura" e desidratado

Trat.	Rep.	Coord L*		Matiz		Croma	
		in natura	Desidratado	in natura	desidratado	in natura	desidratado
1	1	73,40	64,30	82,42	69,30	22,66	28,60
	2	75,04	61,32	83,03	69,57	23,07	27,93
	3	74,33	62,79	82,52	67,77	21,19	28,04
2	1	71,50	66,12	83,81	68,69	19,77	29,96
	2	72,94	64,86	83,55	68,47	20,30	29,72
	3	69,89	65,45	83,21	71,51	21,47	31,09
3	1	72,97	68,46	84,92	70,07	19,33	26,84
	2	75,54	72,10	85,25	69,43	18,70	26,62
	3	71,38	71,09	84,99	71,47	19,33	27,03
4	1	75,60	68,27	81,83	70,73	21,88	26,99
	2	74,87	68,14	82,48	71,72	22,01	26,72
	3	74,23	71,92	82,28	73,62	22,26	26,66
5	1	75,04	64,27	83,68	68,69	19,70	27,19
	2	74,62	64,28	84,20	70,70	18,62	29,58
	3	74,32	61,31	84,47	69,81	17,95	26,83
6	1	69,14	62,46	84,24	70,06	17,63	26,77
	2	72,26	63,52	84,54	70,26	17,97	27,06
	3	74,55	62,95	84,08	69,73	18,71	26,99
7	1	75,74	68,04	86,31	71,73	17,11	26,00
	2	75,11	65,51	86,60	67,34	16,70	27,61
	3	75,34	60,52	86,93	69,31	16,45	26,35
8	1	75,75	58,30	84,87	67,20	23,47	25,47
	2	74,72	63,08	84,53	69,86	23,18	27,97
	3	73,89	60,85	84,86	69,70	22,98	27,30
9	1	71,47	66,05	82,61	71,44	21,23	26,98
	2	72,67	50,08	83,27	63,86	20,66	23,69
	3	71,74	61,58	83,45	71,27	20,88	25,79

Tabela 4: Resultados da umidade do produto, temperatura e umidade relativa do ar ambiente para o tratamento 1, na secagem de abacaxi em leito fixo

Horário	Tempo	Peso Total	Peso Bandeja	Peso Produto	Umidade Produto	Temperatura ar ambiente	Um. Relativa ar ambiente
	Horas	gramas			% - b.u.	°C	%
8:30	0,00	2135,70	398,00	1737,70	86,00	19,70	72,00
9:00	0,50	1720,10	398,00	1322,10	81,60	20,33	69,50
9:30	1,00	1454,20	398,00	1056,20	76,97	19,56	69,00
10:00	1,50	1265,70	398,00	867,70	71,96	20,07	69,00
10:30	2,00	1126,10	398,00	728,10	66,59	20,30	67,00
11:00	2,50	1025,50	398,00	627,50	61,23	21,13	64,00
11:30	3,00	938,90	398,00	540,90	55,02	21,05	63,00
12:00	3,50	873,50	398,00	475,50	48,84	22,06	60,50
12:30	4,00	823,60	398,00	425,60	42,84	21,52	62,00
13:00	4,50	783,80	398,00	385,80	36,94	21,40	59,50
13:30	5,00	753,00	398,00	355,00	31,47	22,81	57,00
14:00	5,50	728,80	398,00	330,80	26,46	23,42	54,50
14:30	6,00	710,30	398,00	312,30	22,10	23,46	52,00
15:00	6,50	703,70	398,00	305,70	20,42	23,83	52,50

Tabela 5: Resultados da umidade do produto, temperatura e umidade relativa do ar ambiente para o tratamento 2, na secagem de abacaxi em leito fixo

Horário	Tempo	Peso Total	Peso Bandeja	Peso Produto	Umidade Produto	Temperatura ar ambiente	Um. Relativa ar ambiente
	horas	gramas			% - b.u.	°C	%
9:03	0,00	1871,10	398,00	1473,10	86,00	23,83	71,00
9:23	0,33	1699,20	398,00	1301,20	84,15	24,15	70,00
9:43	0,67	1533,10	398,00	1135,10	81,83	24,01	70,50
10:03	1,00	1406,30	398,00	1008,30	79,55	25,57	68,00
10:23	1,33	1299,50	398,00	901,50	77,12	25,87	68,50
10:43	1,67	1207,50	398,00	809,50	74,52	26,89	66,50
11:23	2,33	1067,50	398,00	669,50	69,20	27,79	65,50
11:43	2,67	1007,40	398,00	609,40	66,16	28,28	64,00
12:03	3,00	955,00	398,00	557,00	62,97	29,07	63,50
12:23	3,33	910,20	398,00	512,20	59,74	29,62	62,00
12:43	3,67	870,60	398,00	472,60	56,36	29,88	61,00
13:03	4,00	831,40	398,00	433,40	52,41	30,41	60,50
13:23	4,33	803,40	398,00	405,40	49,13	29,88	60,00
13:43	4,67	777,10	398,00	379,10	45,60	30,63	58,00
14:03	5,00	752,60	398,00	354,60	41,84	31,14	55,50
14:23	5,33	730,90	398,00	332,90	38,05	30,67	55,00
14:43	5,67	712,70	398,00	314,70	34,47	31,29	54,50
15:04	6,00	696,60	398,00	298,60	30,93	31,65	55,00
15:23	6,33	684,40	398,00	286,40	27,99	31,43	56,50
14:43	6,67	673,10	398,00	275,10	25,03	30,58	57,00
16:03	7,00	664,40	398,00	266,40	22,58	30,24	57,50
16:40	7,62	656,40	398,00	258,40	20,19	30,03	58,50

Tabela 6: Resultados da umidade do produto, temperatura e umidade relativa do ar ambiente para o tratamento 3, na secagem de abacaxi em leito fixo

Horário	Tempo	Peso Total	Peso Bandeja	Peso Produto	Umidade Produto	Temperatura ar ambiente	Um. Relativa ar ambiente
	horas	gramas			% - b.u.	°C	%
7:47	0,00	2137,80	398,00	1739,80	86,00	16,49	76,00
8:17	0,50	1834,50	398,00	1436,50	83,04	16,94	74,00
8:47	1,00	1611,60	398,00	1213,60	79,93	17,52	70,00
9:17	1,50	1435,20	398,00	1037,20	76,52	18,57	68,50
9:47	2,00	1291,50	398,00	893,50	72,74	20,11	67,00
10:17	2,50	1184,70	398,00	786,70	69,04	19,11	63,00
10:47	3,00	1094,60	398,00	696,60	65,03	19,63	60,00
11:17	3,50	1036,50	398,00	638,50	61,85	20,85	60,00
11:47	4,00	956,40	398,00	558,40	56,38	21,89	56,50
12:17	4,50	916,70	398,00	518,70	53,04	21,89	54,00
12:47	5,00	879,10	398,00	481,10	49,37	23,17	54,00
13:17	5,50	843,40	398,00	445,40	45,31	23,28	53,00
13:47	6,00	814,50	398,00	416,50	41,52	23,83	52,50
14:17	6,50	791,40	398,00	393,40	38,09	23,48	52,00
14:47	7,00	771,60	398,00	373,60	34,80	22,91	50,00
15:17	7,50	757,10	398,00	359,10	32,17	23,39	50,00
15:47	8,00	745,50	398,00	347,50	29,91	23,70	49,00
16:17	8,50	736,40	398,00	338,40	28,02	23,25	50,00
16:47	9,00	729,10	398,00	331,10	26,44	25,21	50,50
17:17	9,50	723,30	398,00	325,30	25,12	24,96	58,00
17:47	10,00	717,50	398,00	319,50	23,76	22,63	60,00
18:17	10,50	711,70	398,00	313,70	22,36	21,80	60,50
18:47	11,00	705,90	398,00	307,90	20,89	22,33	62,00
19:00	11,22	702,60	398,00	304,60	20,04	22,98	65,00

Tabela 7: Resultados da umidade do produto, temperatura e umidade relativa do ar ambiente para o tratamento 4, na secagem de abacaxi em leito fixo

Horário	Tempo	Peso Total	Peso Bandeja	Peso Produto	Umidade Produto	Temperatura ar ambiente	Um. Relativa ar ambiente
	horas	gramas			% - b.u.	oC	%
7:55	0,00	1913,12	398,00	1515,12	86,00	21,69	73,00
8:25	0,50	1599,40	398,00	1201,40	82,34	24,23	68,50
8:55	1,00	1414,00	398,00	1016,00	79,12	24,93	64,00
9:25	1,50	1277,10	398,00	879,10	75,87	25,71	52,50
9:55	2,00	1164,60	398,00	766,60	72,33	26,14	61,00
10:25	2,50	1076,20	398,00	678,20	68,72	26,27	59,50
10:55	3,00	1006,80	398,00	608,80	65,16	27,86	57,00
11:25	3,50	943,30	398,00	545,30	61,10	28,25	55,00
11:55	4,00	887,60	398,00	489,60	56,68	28,11	54,00
12:25	4,50	838,70	398,00	440,70	51,87	28,83	53,50
12:55	5,00	800,00	398,00	402,00	47,23	28,51	52,50
13:25	5,50	761,20	398,00	363,20	41,60	28,93	51,00
13:55	6,00	737,10	398,00	339,10	37,45	29,14	50,50
14:25	6,50	711,90	398,00	313,90	32,43	28,89	50,50
15:25	7,50	679,80	398,00	281,80	24,73	29,00	51,00
15:55	7,83	665,20	398,00	267,20	20,61	29,60	51,00
16:05	8,00	661,50	398,00	263,50	19,50	29,50	51,50

Tabela 8: Resultados da umidade do produto, temperatura e umidade relativa do ar ambiente para o tratamento 5, na secagem de abacaxi em leito fixo

Horário	Tempo	Peso Total	Peso Bandeja	Peso Produto	Umidade Produto	Temperatura ar ambiente	Um. Relativa ar ambiente
	Horas	gramas			% - b.u.	oC	%
8:25	0,00	2175,80	398,00	1777,80	86,00	19,91	71,00
8:55	0,50	1806,10	398,00	1408,10	82,32	20,06	69,50
9:25	1,00	1565,10	398,00	1167,10	78,67	21,70	67,00
9:55	1,50	1418,50	398,00	1020,50	75,61	21,83	65,50
10:25	2,00	1288,50	398,00	890,50	72,05	21,75	64,00
10:55	2,50	1190,00	398,00	792,00	68,57	22,69	59,50
11:25	3,00	1112,60	398,00	714,60	65,17	23,10	57,00
11:55	3,50	1045,30	398,00	647,30	61,55	23,43	57,50
12:25	4,00	987,80	398,00	589,80	57,80	24,98	56,00
12:55	4,50	940,10	398,00	542,10	54,09	24,85	51,50
13:30	5,00	892,00	398,00	494,00	49,62	25,45	50,00
13:55	5,50	860,80	398,00	462,80	46,22	25,36	48,00
14:25	6,00	831,10	398,00	433,10	42,53	24,34	46,00
14:55	6,50	805,10	398,00	407,10	38,86	24,61	48,50
15:25	7,00	778,60	398,00	380,60	34,61	24,82	45,00
15:55	7,50	766,20	398,00	368,20	32,40	23,87	44,50
16:25	8,00	750,60	398,00	352,60	29,41	22,44	51,00
16:55	8,50	734,80	398,00	336,80	26,10	22,40	58,50
17:25	9,00	719,00	398,00	321,00	22,46	22,30	56,00
17:40	9,25	709,10	398,00	311,10	20,00	22,38	54,00

Tabela 9: Resultados da umidade do produto, temperatura e umidade relativa do ar ambiente para o tratamento 6, na secagem de abacaxi em leito fixo

Horário	Tempo	Peso Total	Peso Bandeja	Peso Produto	Umidade Produto	Temperatura ar ambiente	Um. Relativa ar ambiente
	horas	gramas			% - b.u.	oC	%
8:06	0,00	2137,00	398,00	1739,00	86,00	19,06	79,00
8:36	0,50	1865,10	398,00	1467,10	83,41	20,56	79,00
9:06	1,00	1671,00	398,00	1273,00	80,88	21,02	78,00
9:36	1,50	1510,00	398,00	1112,00	78,11	21,14	75,00
10:06	2,00	1384,10	398,00	986,10	75,31	22,05	72,00
10:36	2,50	1262,10	398,00	864,10	71,83	23,16	69,00
11:06	3,00	1187,30	398,00	789,30	69,15	23,12	65,00
11:36	3,50	1114,60	398,00	716,60	66,03	23,42	63,00
12:06	4,00	1050,50	398,00	652,50	62,69	23,26	62,00
12:36	4,50	995,00	398,00	597,00	59,22	24,13	62,00
13:06	5,00	947,10	398,00	549,10	55,66	24,65	63,00
13:36	5,50	906,10	398,00	508,10	52,08	25,15	61,00
14:06	6,00	870,60	398,00	472,60	48,48	24,29	62,50
14:36	6,50	835,70	398,00	437,70	44,38	24,87	67,00
15:06	7,00	812,70	398,00	414,70	41,29	24,95	60,00
15:36	7,50	789,00	398,00	391,00	37,73	24,60	66,00
16:06	8,00	769,40	398,00	371,40	34,45	23,81	62,00
16:36	8,50	756,00	398,00	358,00	31,99	24,50	65,00
17:06	9,00	742,20	398,00	344,20	29,27	24,22	65,50
17:36	9,50	732,60	398,00	334,60	27,24	22,20	70,50
18:06	10,00	724,70	398,00	326,70	25,48	22,87	70,00
18:36	10,50	716,90	398,00	318,90	23,66	22,54	70,50
19:06	11,00	709,90	398,00	311,90	21,94	21,07	72,00
19:30	11,40	702,90	398,00	304,90	20,15	20,68	71,50

Tabela 10: Resultados da umidade do produto, temperatura e umidade relativa do ar ambiente para o tratamento 7, na secagem de abacaxi em leito fixo

Horário	Tempo	Peso Total	Peso Bandeja	Peso Produto	Umidade Produto	Temperatura ar ambiente	Um. Relativa ar ambiente
	horas	gramas			% - b.u.	oC	%
8:46	0,00	1840,70	398,00	1442,70	86,00	22,46	76,00
9:06	0,33	1651,80	398,00	1253,80	83,89	23,42	75,50
9:26	0,67	1507,00	398,00	1109,00	81,79	23,46	76,00
9:46	1,00	1415,60	398,00	1017,60	80,15	24,05	74,50
10:06	1,33	1326,50	398,00	928,50	78,25	24,53	72,50
10:26	1,67	1248,80	398,00	850,80	76,26	25,56	68,50
10:46	2,00	1181,10	398,00	783,10	74,21	25,46	68,00
11:06	2,33	1107,50	398,00	709,50	71,53	25,29	65,00
11:26	2,67	1040,20	398,00	642,20	68,55	26,32	64,00
11:46	3,00	1020,30	398,00	622,30	67,54	26,73	62,50
12:06	3,33	971,40	398,00	573,40	64,78	27,53	62,00
12:26	3,67	943,80	398,00	545,80	62,99	26,28	61,00
12:46	4,00	903,60	398,00	505,60	60,05	27,17	61,00
13:06	4,33	892,20	398,00	494,20	59,13	27,44	60,50
13:26	4,67	861,30	398,00	463,30	56,40	28,63	58,60
13:46	5,00	829,60	398,00	431,60	53,20	29,17	56,00
14:06	5,33	821,20	398,00	423,20	52,27	28,56	56,00
14:26	5,67	807,00	398,00	409,00	50,62	28,51	57,00
14:46	6,00	791,40	398,00	393,40	48,66	28,23	56,50
15:06	6,33	770,40	398,00	372,40	45,76	28,64	56,50
15:26	6,67	741,90	398,00	343,90	41,27	28,46	56,50
15:46	7,00	724,50	398,00	326,50	38,14	28,45	56,50
16:06	7,33	723,60	398,00	325,60	37,97	28,84	56,50
16:26	7,67	677,60	398,00	279,60	27,76	27,42	59,00
16:46	8,00	657,30	398,00	259,30	22,11	27,12	60,00
16:56	8,33	656,50	398,00	258,50	21,87	27,02	60,50
17:00	8,40	650,50	398,00	252,50	20,01	27,13	61,50

Tabela 11: Resultados da umidade do produto, temperatura e umidade relativa do ar ambiente para o tratamento 8, na secagem de abacaxi em leito fixo

Horário	Tempo	Peso Total	Peso Bandeja	Peso Produto	Umidade Produto	Temperatura ar ambiente	Um. Relativa ar ambiente
	horas	gramas			% - b.u.	oC	%
8:31	0,0	2162,60	398,00	1764,60	86,00	17,12	80,00
9:01	0,5	1818,90	398,00	1420,90	82,61	17,27	79,00
9:31	1,0	1609,50	398,00	1211,50	79,61	17,24	79,00
10:01	1,5	1459,80	398,00	1061,80	76,73	17,52	78,00
10:31	2,0	1343,50	398,00	945,50	73,87	17,90	76,50
11:01	2,5	1245,00	398,00	847,00	70,83	17,74	76,00
11:31	3,0	1162,40	398,00	764,40	67,68	17,34	76,50
12:01	3,5	1074,10	398,00	676,10	63,46	15,50	78,00
12:31	4,0	1022,00	398,00	624,00	60,41	15,35	78,00
13:01	4,5	974,00	398,00	576,00	57,11	16,21	79,00
13:31	5,0	924,80	398,00	526,80	53,10	16,46	78,50
14:01	5,5	875,70	398,00	477,70	48,28	16,79	78,00
14:31	6,0	850,20	398,00	452,20	45,37	17,07	78,00
15:01	6,5	819,10	398,00	421,10	41,33	17,18	77,50
15:31	7,0	792,70	398,00	394,70	37,41	16,85	77,50
16:01	7,5	769,60	398,00	371,60	33,52	16,69	77,00
16:31	8,0	748,80	398,00	350,80	29,58	16,44	76,00
17:01	8,5	732,60	398,00	334,60	26,17	16,11	76,00
17:31	9,0	720,80	398,00	322,80	23,47	17,06	77,50
18:05	9,5	708,40	398,00	310,40	20,41	16,71	78,50

Tabela 12: Resultados da umidade do produto, temperatura e umidade relativa do ar ambiente para o tratamento 9, na secagem de abacaxi em leito fixo

Horário	Tempo	Peso Total	Peso Bandeja	Peso Produto	Umidade Produto	Temperatura ar ambiente	Um. Relativa ar ambiente
	horas	gramas			% - b.u.	oC	%
8:38	0,00	2242,50	398,00	1844,50	86,00	17,45	72,50
9:08	0,50	1959,50	398,00	1561,50	83,46	16,48	71,00
9:38	1,00	1792,10	398,00	1394,10	81,48	16,93	70,00
10:08	1,50	1647,50	398,00	1249,50	79,33	17,09	70,00
10:38	2,00	1532,20	398,00	1134,20	77,23	16,96	69,00
11:08	2,50	1435,30	398,00	1037,30	75,11	18,06	67,00
11:38	3,00	1375,40	398,00	977,40	73,58	19,27	66,00
12:08	3,50	1274,90	398,00	876,90	70,55	19,20	65,50
12:38	4,00	1209,70	398,00	811,70	68,19	19,03	65,50
13:08	4,50	1151,80	398,00	753,80	65,74	17,49	66,00
13:38	5,00	1072,70	398,00	674,70	61,73	18,05	65,00
14:08	5,50	1045,30	398,00	647,30	60,11	17,88	66,00
14:38	6,00	999,10	398,00	601,10	57,04	19,70	66,00
15:08	6,50	954,00	398,00	556,00	53,56	17,86	65,50
15:38	7,00	919,50	398,00	521,50	50,48	19,14	66,00
16:08	7,50	886,50	398,00	488,50	47,14	17,72	66,00
16:38	8,00	856,60	398,00	458,60	43,69	18,87	67,00
17:08	8,50	848,00	398,00	450,00	42,62	16,98	68,00
17:38	9,00	821,50	398,00	423,50	39,02	18,71	70,00
18:08	9,50	799,50	398,00	401,50	35,68	16,65	70,00
18:38	10,00	780,20	398,00	382,20	32,44	16,77	70,50
19:08	10,50	763,40	398,00	365,40	29,33	17,58	70,50
19:38	11,00	748,40	398,00	350,40	26,30	17,41	71,00
20:08	11,50	737,30	398,00	339,30	23,89	17,89	70,50
20:38	12,00	725,10	398,00	327,10	21,05	17,99	72,00
20:53	12,25	720,70	398,00	322,70	19,98	17,97	73,00

APÊNDICE II

Código fonte do programa computacional implementado, denominado Desidrat, versão 1.0.

Autores:

Ester Rodrigues – DEA/UFV
Cristiano Márcio Alves de Souza – FCA/UFGD

```
Option Explicit

Private Sub Command2_Click()
 End
End Sub

Private Sub Command3_Click()
Dim Filename As String
CommonDialog1.CancelError = True
On Error GoTo Fim
CommonDialog1.Filter = "Arquivo Word (*.DOC)|*.DOC|Arquivo texto (*.TXT)|*.TXT|"
CommonDialog1.ShowSave
Filename = CommonDialog1.Filename
If CommonDialog1.Filename <> "" Then
 FileCopy App.Path & "\desidrat1.dat", Filename
End If

Fim:

End Sub

Private Sub Form_Load()
Dim arquivo
Me.Caption = App.Title & " " & App.Major & "." &App.Minor & " - Simulação de Desidratação
de Abacaxi em Leito Fixo"

EnableCloseButton Me.hWnd, False

Dim ee As Integer
Dim nodX As Node
 Set nodX = TreeView1.Nodes.Add(, , "R1", "Ajuda", 6)
 Set nodX = TreeView1.Nodes.Add(, , "R2", "Desenvolvedores", 7)
 Set nodX = TreeView1.Nodes.Add(, , "R3", "Instituições", 8)
 Set nodX = TreeView1.Nodes.Add("R1", tvwChild, "A1", "Introdução", 4, 5)
 Set nodX = TreeView1.Nodes.Add("R1", tvwChild, "A2", "Modelagem", 4, 5)
 Set nodX = TreeView1.Nodes.Add("R2", tvwChild, "C1", "Ester Rodrigues", 1, 3)
 Set nodX = TreeView1.Nodes.Add("R2", tvwChild, "C2", "Cristiano Márcio Alves de Souza",
2, 3)
 Set nodX = TreeView1.Nodes.Add("R3", tvwChild, "D1", "Universidade Federal de Viçosa", 1, 3)
 Set nodX = TreeView1.Nodes.Add("R3", tvwChild, "D2", "Universidade Federal da Grande
Dourados", 2, 3)
 ' nodX.EnsureVisible
 nodX.Expanded = False
 TreeView1.Style = 7   ' Style 4.
 TreeView1.BorderStyle = vbFixedSingle
 arquivo = App.Path & "\desidrat.rtf"
 RichTextBox1.LoadFile arquivo, rtfRTF
End Sub
```

```
Private Sub Image1_Click()
Dim nContextId
On Error Resume Next
nContextId = 3
ShowHelpContext (nContextId)
 If Err Then
 MsgBox Err.Description
 End If
End Sub

Private Sub Image2_Click()
Dim nContextId
On Error Resume Next
nContextId = 2
ShowHelpContext (nContextId)
 If Err Then
 MsgBox Err.Description
 End If
End Sub

Private Sub Image3_Click()
Dim nContextId
On Error Resume Next
nContextId = 1
ShowHelpContext (nContextId)
 If Err Then
 MsgBox Err.Description
 End If
End Sub

Private Sub Imprimir_Click()
 Dim Header, I, Y, k ' Declare variables.
 Dim BeginPage, EndPage, NumCopies ', I
 Dim LineOfText$, LinhaCheia, Linhatraco
 Dim Conta, Nlinha As Integer
 CommonDialog1.CancelError = True
 On Error GoTo Fim
 CommonDialog1.ShowPrinter
 On Error Resume Next
 BeginPage = CommonDialog1.FromPage
 EndPage = CommonDialog1.ToPage
 NumCopies = CommonDialog1.Copies
 Printer.FontName = "Courier New"
 Printer.FontSize = 11
 Printer.Orientation = vbPRORPortrait
 'Header = "  " & App.Title & "" ' Set header string.

 For I = 1 To NumCopies
  'Printer.CurrentY = 750
  ' Printer.CurrentX = 300
  'Printer.Print Header   ' Print header.
  Printer.CurrentY = 750
  Printer.CurrentX = Printer.ScaleWidth - 1000
  Printer.Print Printer.Page ' Print page number.
  'Y = Printer.CurrentY + 50 ' Set position for line.
  ' Draw a line across page.
  'Printer.Line (600, Y)-(Printer.ScaleWidth - 600, Y) ' Draw line.

   Open App.Path & "/Desidrat1.dat" For Input As #1
```

```
   Do Until EOF(1)   'lê linhas do arquivo
    Line Input #1, LineOfText$
    Nlinha = Nlinha + 1
    If Nlinha = 10 Then LinhaCheia = LineOfText$
    If Nlinha = 15 Then Linhatraco = LineOfText$
    If Nlinha <= 4 Then
     Printer.CurrentX = 1000
    Else
     Printer.CurrentX = 1200
    End If
    Printer.Print LineOfText$
    Conta = Conta + 1
    If Conta = 58 Then
     Printer.CurrentX = 1200
     Printer.Print Linhatraco
     Printer.NewPage
     Printer.CurrentX = Printer.ScaleWidth - 1000
     Printer.CurrentY = 750
     Printer.Print Printer.Page
     Conta = 0
     Printer.CurrentY = 850
     Printer.CurrentX = 1200
     Printer.Print " Continua ..."
     Printer.CurrentX = 1200
     Printer.Print LinhaCheia
    End If
   Loop
  Close #1
  'Next k
  Printer.EndDoc

 Next I


 If Err Then
  MsgBox Err.Description
 End If
Exit Sub
Fim:
 'bye

End Sub

Private Sub TreeView1_NodeClick(ByVal Node As MSComctlLib.Node)

Select Case Node.Index
 Case 1
  picEndereco.Cls
 Case 2
  picEndereco.Cls
 Case 3
  picEndereco.Cls
 Case 4

 Case 5
```

```
 Case 6
  picEndereco.Cls
  picEndereco.FontBold = True
  picEndereco.Print " "
  picEndereco.Print " Departamento de Engenharia Agrícola"
  picEndereco.Print " Universidade Federal de Viçosa"
  picEndereco.Print " CEP 36570-000 Viçosa - MG"
  picEndereco.Print " Fone: 55 (31) 3899 2729"
  picEndereco.Print
  picEndereco.Print " E-mail: esterrodrigues15@yahoo.com.br"


 Case 7
  picEndereco.Cls
  picEndereco.FontBold = True
  picEndereco.Print " "
  picEndereco.Print " Faculdade de Ciências Agrárias"
  picEndereco.Print " Universidade Federal da Grande Dourados"
  picEndereco.Print " Caixa Postal 533"
  picEndereco.Print " CEP 79804-970 Dourados - MS"
  picEndereco.Print " Fone: 55 (67) 3411 3841 Fax: 3411 3811"
  picEndereco.Print
  picEndereco.Print " E-mail: csouza@ceud.ufms.br"
  picEndereco.Print " Website: http://www.ceud.ufms.br/~csouza"
 Case 8
  picEndereco.Cls
  picEndereco.FontBold = True
  picEndereco.Print " "
  picEndereco.Print " Universidade Federal de Viçosa - UFV"
  picEndereco.Print " Avenida P. H. Rolfs s/n - Campus da UFV"
  picEndereco.Print " CEP 36570-000 - Viçosa - MG"
  picEndereco.Print " Fones: (31) 3899 2328 / 3899 2921"
  Case 9
  picEndereco.Cls
  picEndereco.FontBold = True
  picEndereco.Print " "
  picEndereco.Print " UFGD Universidade Federal da Grande Dourados"
  picEndereco.Print " PABX: (0xx67) 3411-3600¤ Fax: (0xx67) 3411-3618"
  picEndereco.Print " Dourados , MS - Brasil"
End Select
End Sub

Private Sub txthcamada_Change()
If Right$(txtHcamada.Text, 1) = "," Then
  MsgBox ("Digite Ponto e não Vírgula"), vbCritical
 End If
 If IsNumeric(txtHcamada.Text) Then
  Exit Sub
 Else
  MsgBox ("Digite um Valor Numérico"), vbCritical
 End If
End Sub

Private Sub txtAcamara_Change()
If Right$(txtAcamara.Text, 1) = "," Then
  MsgBox ("Digite Ponto e não Vírgula"), vbCritical
 End If
 If IsNumeric(txtAcamara.Text) Then
  Exit Sub
 Else
```

```
  MsgBox ("Digite um Valor Numérico"), vbCritical
 End If
End Sub

Private Sub Command1_Click()
'verificacao dos dados de entrada
'produto
If txtUi.Text = "" Then 'umidade inicial
 MsgBox ("Entre com " & lblUi.Caption), vbOKOnly, "Erro na Entrada de Dados"
 txtUi.SetFocus
 Exit Sub
End If
If txtTg.Text = "" Then 'temperatura
 MsgBox ("Entre com " & lblTg.Caption), vbOKOnly, "Erro na Entrada de Dados"
 txtTg.SetFocus
 Exit Sub
End If
If txtUf.Text = "" Then 'umidade final
 MsgBox ("Entre com " & lblUf.Caption), vbOKOnly, "Erro na Entrada de Dados"
 txtUf.SetFocus
 Exit Sub
End If
If txtMe.Text = "" Then 'umidade final
 MsgBox ("Entre com " & lblMe.Caption), vbOKOnly, "Erro na Entrada de Dados"
 txtMe.SetFocus
 Exit Sub
End If
'secador
If txtAcamara.Text = "" Then 'area da camara
 MsgBox ("Entre com " & lblAcamara.Caption), vbOKOnly, "Erro na Entrada de Dados"
 txtAcamara.SetFocus
 Exit Sub
End If
If txtHcamada.Text = "" Then 'altura da camada
 MsgBox ("Entre com " & lblHcamada.Caption), vbOKOnly, "Erro na Entrada de Dados"
 txtHcamada.SetFocus
 Exit Sub
End If
If txtNcamada.Text = "" Then 'numero de camada
 MsgBox ("Entre com " & lblNcamada.Caption), vbOKOnly, "Erro na Entrada de Dados"
 txtNcamada.SetFocus
 Exit Sub
End If
If txtQar.Text = "" Then 'vazao de ar
 MsgBox ("Entre com " & lblQar.Caption), vbOKOnly, "Erro na Entrada de Dados"
 txtQar.SetFocus
 Exit Sub
End If
'condicoes do ar
If txtTsec.Text = "" Then
 MsgBox ("Entre com " & lblTsec.Caption), vbOKOnly, "Erro na Entrada de Dados"
 txtTsec.SetFocus
 Exit Sub
End If
If txtTamb.Text = "" Then
 MsgBox ("Entre com " & lblTamb.Caption), vbOKOnly, "Erro na Entrada de Dados"
 txtTamb.SetFocus
 Exit Sub
End If
If txtUr.Text = "" Then
```

```
 MsgBox ("Entre com " & lblUr.Caption), vbOKOnly, "Erro na Entrada de Dados"
 txtUr.SetFocus
 Exit Sub
End If
'declaracao de variaveis
Dim enUi, enTg, enUf As Double      'produto
Dim enAcamara, enEspFat, enHcamada, enNcamada, enQar As Double 'secador
Dim enTsec, enTamb, enUr, enMe As Double     'condicoes do ar
'leitura de dados
'produto
 enUi = Val(txtUi.Text)
 enTg = Val(txtTg.Text)
 enUf = Val(txtUf.Text)
 enMe = Val(txtMe.Text)
'secador
 enAcamara = Val(txtAcamara.Text)
 enEspFat = Val(txtHcamada.Text)
 enNcamada = Val(txtNcamada.Text)
 enHcamada = enEspFat * enNcamada
 enQar = Val(txtQar.Text)
'ar
 enTsec = Val(txtTsec.Text)
 enTamb = Val(txtTamb.Text)
 enUr = Val(txtUr.Text)



'inicia o processo de desidratacao
Call SisDesidrat(enUi, enTg, enUf, enMe, enAcamara, enHcamada, enNcamada, enQar, enTsec,
enTamb, enUr)
Call Resultados
SSTab1.Tab = 1
End Sub
Sub SisDesidrat(Ui, Tg1, uf, Mesp, Acamara, Hcamada, Ncamada, qar, Tsec, TAMB, Ur)
'declaracao de variaveis
Dim mU(100), mTg(100), ru(100), t(100)        'matrizes auxiliares
Dim Rop, Ui0, Tgi, R, RuAmb, EspFat As Double
Dim Deltt, Deltx, Gar0, Xtotal, Volume As Double
Dim Massa, n, I As Integer
Dim Umedf, Umax, Umin As Double
Dim Tgmedf, tgmax, tgmin As Double
Dim iUmedf, iUmax, urp, tarp, tpar2 As Double
'
Dim energia, agua, consumo, ConsEnergia As Double
Dim Ga, tTotal, n1, iumin, itgmedf, itgmax, itgmin, tf, ruf As Double
'
Dim xflows, pressaos, potencias As Double
Dim aa, bb, aaa, bbb As Single
'transforma peso especifico em termos de materia seca
Rop = (100 - Ui) * Mesp / 100

' transfere valores das matrizes para as variaveis de inicializacao
Ui0 = Ui
Tgi = Tg1
'Call Rmistura(Temp_Ambi, Umidade_Rela, R_mist)
RuAmb = Rmis(TAMB, Ur)
Ui = Ui0 / (100 - Ui0)
```

```
'incremento de tempo
Deltt = 0.05
'define parametros para o secador
 Gar0 = qar / Acamara
 Xtotal = Hcamada
 Volume = Acamara * Hcamada
 Massa = Volume * Mesp
 n = Ncamada
 Deltx = Xtotal / n
 Ga = Gar0 * 60 / Vesp(TAMB, RuAmb)
 R = Rop * Deltx / Ga / Deltt
'-----------------------------------------------------
'Stop
Open App.Path & "/" & "Desidrat1.dat" For Output As #5
Print #5, " "
Print #5, " Desidrat " & App.Major & "." &App.Minor & " - Programa Computacional para
Simular a Desidratação "
Print #5, "     de Abacaxi em Secador de Leito Fixo"
Print #5, " "
Print #5, " "
Print #5, Tab(17); " R E S U L T A D O S S I M U L A D O S "
Print #5, " "
Print #5, " "
Print #5, " "; Tab(3); "PERFIL DE UMIDADE E TEMPERATURA NO SECADOR "; Tab(74);
""
Print                                                  #5,                                                    "
_____________________________________________________________________________________"
Print #5, "      Produto       Ar Saída  "
Print #5, "   ---------------------------- --------------------------"
Print #5, " Tempo Teor de Água  Temperatura  Umid. Relativa Temperatura "
Print #5, "  h  % b.u.   ºC   %    ºC "
Print #5, " ---------------------------------------------------------------------"
' inicializa vetor de temperatura e teor de umidade do produto
tTotal = 0
n1 = 1
For I = n1 To (n1 + n)
 mU(I) = Ui
 mTg(I) = Tgi
Next I
'loop de tempo de secagem
Do
 tTotal = tTotal + Deltt
 Call CamadaFixa(n1, n, Tsec, RuAmb, R, Deltt, Ui, Umedf, Umax, Umin, Tgmedf, tgmax,
tgmin, mU(), mTg(), t(), ru())
 tf = t(n + n1 - 1)
 Umax = 100 * Umax
 Umin = 100 * Umin
 ruf = ru(n + n1 - 1)
 urp = Urel(tf, ruf)
 tarp = tf
 tpar2 = tTotal
'imprimindo resultados da simulacao
```

```
 Print #5, " "; Tab(5); Format$(tpar2, "0.00"); Tab(18); Format$(Umedf, "0.0"); Tab(34);
Format$(Tgmedf, "0.0") & _
   ""; Tab(51); Format$(urp, "0.0"); , Tab(66); Format$(tarp, "0.0")
Loop Until (Umedf < uf) '(uf <> 0) And
Print                                                                                  #5,                                                                                  "
_____________________________________________________________________________________________________________"
Close #5
' calcula os parametros de desempenho do secador
energia = qar * 1.2 * tTotal * 60 * (Tsec - TAMB)
agua = Massa * (Ui0 - Umedf) / (100 - Umedf)
If agua = 0 Then agua = 0.001
xflows = qar / Acamara
consumo = energia / (agua)
ConsEnergia = energia / 1000
Open App.Path & "/" & "Desidrat1.dat" For Append As #1
 Print #1,
 Print #1,
 Print #1, " PARÂMETROS CALCULADOS NA SIMULAÇÃO"
 Print                                                                                  #1,                                                                                  "
_____________________________________________________________________________________________________________"
 Print #1, " Massa Inicial de Produto no Secador   = "; Format$(Massa, "0.0"); Tab(59); " kg"
 Print #1, " Água Retirada Durante a Secagem    = "; Format$(agua, "0.0"); Tab(59); " kg"
 Print #1, " Energia Consumida para Aquecimento de Ar = "; Format$(ConsEnergia, "0.0");
Tab(59); " MJ"
 Print #1, " Consumo Específico de Energia     = "; Format$(consumo, "0.0"); Tab(59); " kJ/kg
de água"
 Print #1, " Tempo Total de Secagem      = "; Format$(tpar2, "0.0"); Tab(59); " h"
 Print #1, " Teor de Água Final       = "; Format$(Umedf, "0.0"); Tab(59); "% b.u."
 Print #1, " Vazão de Ar         = "; Format$(qar, "0.0"); Tab(59); " m3/min"
 Print #1, " Fluxo de Ar         = "; Format$(xflows, "0.0"); Tab(59); " m3/min.m²"
 Print                                                                                  #1,                                                                                  "
_____________________________________________________________________________________________________________"
 Print #1,
 Print #1,
 Ui = 100 * Ui / (1 + Ui)
 Print #1, " DADOS DE ENTRADA"
 Print                                                                                  #1,                                                                                  "
_____________________________________________________________________________________________________________"
 Print #1, " ++ Produto "
 Print #1, "  Teor de água inicial      = "; Format$(Ui, "0.0"); Tab(59); "%bu"
 Print #1, "  Teor de água final desejado    = "; Format$(uf, "0.0"); Tab(59); "%bu"
 Print #1, "  Temperatura        = "; Format$(Tg1, "0.0"); Tab(59); " ºC"
 Print #1, "  Massa específica       = "; Format$(Mesp, "0.0"); Tab(59); " kg/m³"
 Print #1, " ----------------------------------------------------------------------"
 Print #1, " ++ Secador "
 Print #1, "  Área da câmara se secagem    = "; Format$(Acamara, "0.0##"); Tab(59); " m²"
 Print #1, "  Altura da camada de fatias    = "; Format$(Hcamada, "0.0#"); Tab(59); " m"
 Print #1, "  Número de fatias de abacaxi    = "; Format$(Ncamada, "0")
 EspFat = Hcamada / Ncamada
 Print #1, "  Espessura das fatias de abacaxi   = "; Format$(EspFat, "0.0#"); Tab(59); " m"
 Print #1, " ----------------------------------------------------------------------"
 Print #1, " ++ Ar "
 Print #1, "  Temperatura de secagem      = "; Format$(Tsec, "0.0"); Tab(59); " ºC"
 Print #1, "  Vazão de Ar         = "; Format$(TAMB, "0.0"); Tab(59); " m³/min"
 Print #1, "  Umidade relativa       = "; Format$(Ur, "0.0"); Tab(59); "%"
 Print                                                                                  #1,                                                                                  "
_____________________________________________________________________________________________________________"
'
Close #1
```

```
End Sub

Sub CamadaFixa(n1, n, Tsec, RuAmb, R, Deltt, Ui, Umedf, Umax, Umin, Tgmedf, tgmax,
tgmin, u(), Tg(), t(), ru())
Dim t0, ru0, Tg0, u0, uf, tgf, tf, ruf As Double
Dim I As Integer
'
 t0 = Tsec
 ru0 = RuAmb
 Umedf = 0
 Umax = 0
 Umin = 100
 Tgmedf = 0
 tgmax = 0
 tgmin = 200

 For I = (n1) To (n1 + n - 1)
  Tg0 = Tg(I)
  u0 = u(I)
  Call CamadaDelgada(u0, Tg0, t0, ru0, R, uf, tgf, tf, ruf, Deltt, Ui)
  ' transfere os valores das variaveis de saida para os vetores que
  ' contem os perfis de temperatura e umidade do ar do grao
  Tg(I) = tf
  u(I) = uf
  ru(I) = ruf
  t(I) = tf
  t0 = tf
  ru0 = ruf
  Umedf = Umedf + u(I) * 100 / ((1 + u(I)) * n)
  Tgmedf = Tgmedf + Tg(I) / n
  If (Umax < u(I)) Then Umax = u(I)
  If (Umin > u(I)) Then Umin = u(I)
  If (tgmax < Tg(I)) Then tgmax = Tg(I)
  If (tgmin > Tg(I)) Then tgmin = Tg(I)
 Next I
 End Sub
Sub CamadaDelgada(u0, Tg0, t0, ru0, R, uf, tgf, tf, ruf, Deltt, Ui)
Dim Cp, te, Ur, dhfg, rm1, h1, TAbs As Double
Dim rm2, ur1, ur2 As Double
Dim rm3
Dim jflag, iconta, ur3, urf
Dim T1, T2, T3 As Double
'
  Cp = EntalEsp(u0, tgf)
  ' calcula da temperatura de equilibrio (modelo Thompson)
  te = ((0.24 + 0.45 * ru0) * t0 + Cp * R * (1 + u0) * Tg0) / (0.24 + 0.45 * ru0 + Cp * R * (1 +
u0))
  ruf = ru0
  tgf = te
  uf = u0
  ' Calcula a umidade relativa tomando por base a temperatura de equilibrio
  Ur = Urel(te, ruf)
  If (Ur < 99.99) Then
  uf = UFinal(te, Ur, u0, Ui, Deltt)
  ' calcula razao de umidade do ar no tempo t + deltat
  ruf = ru0 + R * (u0 - uf)
  If ruf < 0.005 Then
   uf = u0 - (ru0 - 0.005) / R
   ruf = 0.005
  End If
```

```
  dhfg = DeltaLv(te, u0)
  ' Calcula a temperatura do ar e do grao no tempo t + deltat
  tf = (0.24 + 0.45 * ru0) * te - (ruf - ru0) * (588 + dhfg - te) + Cp * R * (1 + u0) * te
  tf = tf / (0.24 + 0.45 * ruf + Cp * R * (1 + u0))
  tgf = tf
  ' calcula a umidade relativa do ar no tempo t + deltat
  Ur = Urel(tf, ruf)
  End If
  ' verifica se a umidade relativa do ar e factivel
  If (Ur >= 99.999999999) Then
   ' se a umidade relativa for superior a 100% simula condensacao de umidade
   T1 = tf
   rm1 = ruf
   h1 = 0.24 * T1 + rm1 * (588 + 0.45 * T1)
   TAbs = T1 + 273.16

   rm2 = 0.622 * Pvs(TAbs) / (760 - Pvs(TAbs))
   T2 = (h1 + (rm2 - rm1) * T1 + Cp * R * (1 + uf) * T1 - rm2 * 588) / (0.24 + rm2 * 0.45 + Cp
* R * (1 + uf))
   ur1 = Urel(T1, rm1)
   ur2 = Urel(T2, rm2)
   jflag = 0
   iconta = 0
   Do While (jflag <> 1)
   iconta = iconta + 1
   T3 = T1 - (ur1 - 100) / (ur1 - ur2) * (T1 - T2)
   rm3 = (h1 - rm1 * T1 + Cp * R * (1 + uf) * (T1 - T3) - 0.24 * T3) / (-T1 + 588 + 0.45 * T3)
   ur3 = Urel(T3, rm3)
   jflag = 1
   If (ur3 > 100) Then
    ur1 = ur3
    h1 = 0.24 * T3 + (588 + 0.45 * T3) * rm3
    rm1 = rm3
    T1 = T3
    jflag = 0
   End If
   If (ur3 < 99) Then
    ur2 = ur3
    rm2 = rm3
    T2 = T3
    jflag = 0
   End If
   If iconta > 100! Then
    jflag = 1
   End If
   Loop
   ruf = rm3
   uf = uf - (rm3 - ruf) / R
   tf = T3
   tgf = T3
  End If
  urf = Urel(tf, ruf)
End Sub
'subrotina para calcular a entalpia específica
'fornecido por Mohsenin, N. N. Thermal properties of foods and agricultural materials. New
York: Gordon and Breach Science Publishers.1980.404 p.
Function EntalEsp(u0, tgf) As Double
Dim ToF, ToC As Single
  'abacaxi
  EntalEsp = 0.88 * 4.1868 ' 3.684384 'kJ/kg.oC (ou 0.88 BTU/lb oF)  fornecido pela ester
```

```
End Function
'subrotina para calcular a entalpia latente de vaporizacao da agua nas fatias
Function DeltaLv(te, u0) As Double
  'DeltaLv = (606 - 0.57 * te) * 4.35 * Exp(-28.25 * u0)
  DeltaLv = 283.774 'kJ/kg (122 BTU/lb)      'fornecido pela ester

End Function
Public Function UFinal(te, Ur, u0, Ui, Deltt) As Double
Dim Ue, xmr, duu, dxmr, teq, LnXMR
Dim A, B
   Ue = Ueq(te, Ur)
   xmr = (u0 - Ue) / (Ui - Ue)
   duu = 0
   If (xmr > 1) Then
    xmr = 1
    duu = u0 - Ui
   End If
   If (xmr > 0) Then
    A = 0.880683 - 0.00175 * te
    B = -0.365067 + 0.01024 * te
    LnXMR = Log(xmr)
    teq = (Log(A) - LnXMR) / B
    ' calcula o teor de umidade no tempo t + deltat
    UFinal = (A * Exp(-B * (teq + Deltt))) * (Ui - Ue) + Ue
   End If
   If (xmr <= 0) Then
    UFinal = u0
   End If
End Function
'subrotina para calcular umidade de equilibrio
'Nicole, Tese da Ester
'Xm - umidade na camada monocular (base seca)
'C - Const de Guggenheim
Function Ueq(te, Ur) As Double
Const C0 = 52600, K0 = 33.84
Static C, Xm, K3
Dim Cc, X1, X2, X3, X4 As Double
Ur = Ur / 100

'te = 70
If te < 60 Then
 C = 1.11
 Xm = 0.0633
Else
 C = 1.85
 Xm = 0.0637
End If

Cc = C0 * Exp(-30.24 * 1000 / (8.314 * (te + 273.16)))
K3 = K0 * Exp((-9.66 * 1000) / (8.314 * (te + 273.16)))
'
'Ur = 0.725
X1 = (C - 1) * K3 * Ur * Xm
X2 = 1 + (C - 1) * K3 * Ur
X3 = K3 * Ur * Xm
X4 = 1 - K3 * Ur
Ueq = (X1 / X2) + (X3 / X4)   'Equacao de GAB
Ur = Ur * 100
End Function
' subrotina para calculo do volume especifico do ar
```

```
'QUEIROZ, D.M. & PEREIRA, J.A.M. Psicrometria. Viçosa: Centreinar, 2004. 25p.
Function Vesp(Ta, rma)
 Vesp = 287.05 * (Ta + 273.16) / (101325 - (rma * 101325 / (0.622 + rma)))
End Function
'subrotina para o calculo da pressao de vapor de saturacao
'QUEIROZ, D.M. & PEREIRA, J.A.M. Psicrometria. Viçosa: Centreinar, 2004. 25p.
Function Pvs(TAbs)
 Pvs = (-27405.526 + 97.5413 * TAbs - 0.146244 * TAbs ^ 2 + 0.00012558 * TAbs ^ 3 -
0.000000048502 * TAbs ^ 4) / _
  (4.34903 * TAbs - 0.0039381 * TAbs ^ 2)
 Pvs = 22105649.25 * Exp(Pvs) / 133.322
End Function
'subrotina para calculo da razao de umidade do ar
'QUEIROZ, D.M. & PEREIRA, J.A.M. Psicrometria. Viçosa: Centreinar, 2004. 25p.
Function Rmis(Ta, Ura)
Dim TAbs, Pv, P As Double
 P = Val(txtPress_Barom.Text)
 TAbs = Ta + 273.16
 Pv = Pvs(TAbs) * Ura / 100
 Rmis = 0.622 * Pv / (P - Pv)
End Function
'subrotina para o calculo da umidade relativa
'BROOKER, D.B.; BAKKER-ARKEMA, F.W.; HALL, C.M. Drying and storage
'of grains and oilseeds. New York: Van Nostrand Reinhold. 1992. 450p.
Function Urel(Ta, rma1)
Dim TAbs, Pvs1 As Single
 TAbs = Ta + 273.16
 Pvs1 = Pvs(TAbs)
 Urel = (100 * rma1 * 760) / ((0.622 + rma1) * Pvs1)
End Function
'subrotina para exibicao dos resultados
Sub Resultados()
Dim Esq, Topo As Double
Dim Wrap$, LineOfText$, AllText$
 Wrap$ = Chr$(13) + Chr$(10) 'cria caracter de mudança de linha
 Open App.Path & "/Desidrat1.dat" For Input As #1
  Do Until EOF(1)   'então lê linhas do arquivo
   Line Input #1, LineOfText$
   AllText$ = AllText$ & LineOfText$ & Wrap$
  Loop
 Close #1
 txtArquivo = AllText$ 'exibe o arquivo
 txtArquivo.Enabled = True

End Sub

Public Function ShowHelp(strTopic As String, bIsLocal As Boolean) As Boolean
Dim strDir As String
Dim hinst As Long
hinst = ShellExecute(Me.hWnd, vbNullString, strTopic, vbNullString, strDir,
SW_SHOWNORMAL)
' Handle less than 32 indicates failure
ShowHelp = hinst > 32
End Function

Private Function ShowHelpContext(nContextId As Integer) As Boolean
Dim strTopic As String
Dim bIsLocal As Boolean
bIsLocal = True
If nContextId = 1 Then
```

```
 strTopic = "http://www.ceud.ufms.br/ufgd/dca/"
ElseIf nContextId = 2 Then
 strTopic = "http://www.ceud.ufms.br"
ElseIf nContextId = 3 Then
 strTopic = "http://www.ufv.br/dea"
Else
 MsgBox "Sistema não pode ser carregado."
End If
bIsLocal = False
ShowHelpContext = ShowHelp(strTopic, bIsLocal)
End Function

Private Const SC_CLOSE As Long = &HF060&
Private Const MIIM_STATE As Long = &H1&
Private Const MIIM_ID As Long = &H2&
Private Const MFS_GRAYED As Long = &H3&
Private Const WM_NCACTIVATE As Long = &H86

Private Type MENUITEMINFO
 cbSize As Long
 fMask As Long
 fType As Long
 fState As Long
 wID As Long
 hSubMenu As Long
 hbmpChecked As Long
 hbmpUnchecked As Long
 dwItemData As Long
 dwTypeData As String
 cch As Long
End Type

Private Declare Function GetSystemMenu Lib "user32" ( _
 ByVal hWnd As Long, ByVal bRevert As Long) As Long

Private Declare Function GetMenuItemInfo Lib "user32" Alias _
 "GetMenuItemInfoA" (ByVal hMenu As Long, ByVal un As Long, _
 ByVal B As Boolean, lpMenuItemInfo As MENUITEMINFO) As Long

Private Declare Function SetMenuItemInfo Lib "user32" Alias _
 "SetMenuItemInfoA" (ByVal hMenu As Long, ByVal un As Long, _
 ByVal bool As Boolean, lpcMenuItemInfo As MENUITEMINFO) As Long

Private Declare Function SendMessage Lib "user32" Alias _
 "SendMessageA" (ByVal hWnd As Long, ByVal wMsg As Long, _
 ByVal wParam As Long, lParam As Any) As Long

Private Declare Function IsWindow Lib "user32" _
 (ByVal hWnd As Long) As Long
' abrir qualquer arquivo
#If Win32 Then
 Public Declare Function ShellExecute Lib _
  "shell32.dll" Alias "ShellExecuteA" _
  (ByVal hWnd As Long, _
  ByVal lpOperation As String, _
  ByVal lpFile As String, _
  ByVal lpParameters As String, _
  ByVal lpDirectory As String, _
  ByVal nShowCmd As Long) As Long
```

```
#Else
  Public Declare Function ShellExecute Lib _
  "shell.dll" _
  (ByVal hWnd As Integer, _
  ByVal lpOperation As String, _
  ByVal lpFile As String, _
  ByVal lpParameters As String, _
  ByVal lpDirectory As String, _
  ByVal nShowCmd As Integer) As Integer
#End If
Public Const SW_SHOWNORMAL = 1
Rem

'toolbat as coolbar
Public Const WM_USER = &H400
Public Const TB_SETSTYLE = WM_USER + 56
Public Const TB_GETSTYLE = WM_USER + 57
Public Const TBSTYLE_FLAT = &H800

Public Declare Function SendMessageLong Lib "user32" Alias "SendMessageA" _
(ByVal hWnd As Long, ByVal wMsg As Long, ByVal wParam As Long, ByVal lParam As
Long) _
As Long

Public Declare Function FindWindowEx Lib "user32" Alias "FindWindowExA" _
(ByVal hWnd1 As Long, ByVal hWnd2 As Long, ByVal lpsz1 As String, ByVal lpsz2 As
String) _
As Long
Public Function EnableCloseButton(ByVal hWnd As Long, Enable As Boolean) As Integer
 Const xSC_CLOSE As Long = -10
 ' Check that the window handle passed is valid
 EnableCloseButton = -1
 If IsWindow(hWnd) = 0 Then Exit Function
 ' Retrieve a handle to the window's system menu
 Dim hMenu As Long
 hMenu = GetSystemMenu(hWnd, 0)
 ' Retrieve the menu item information for the close menu item/butt
 ' on
 Dim MII As MENUITEMINFO
 MII.cbSize = Len(MII)
 MII.dwTypeData = String(80, 0)
 MII.cch = Len(MII.dwTypeData)
 MII.fMask = MIIM_STATE


 If Enable Then
  MII.wID = xSC_CLOSE
 Else
  MII.wID = SC_CLOSE
 End If


 EnableCloseButton = -0
 If GetMenuItemInfo(hMenu, MII.wID, False, MII) = 0 Then Exit Function
 ' Switch the ID of the menu item so that VB can not undo the acti
 ' on itself
 Dim lngMenuID As Long
 lngMenuID = MII.wID
```

```
 If Enable Then
  MII.wID = SC_CLOSE
 Else
  MII.wID = xSC_CLOSE
 End If


 MII.fMask = MIIM_ID
 EnableCloseButton = -2
 If SetMenuItemInfo(hMenu, lngMenuID, False, MII) = 0 Then Exit Function
 ' Set the enabled / disabled state of the menu item


 If Enable Then
  MII.fState = (MII.fState Or MFS_GRAYED)
  MII.fState = MII.fState - MFS_GRAYED
 Else
  MII.fState = (MII.fState Or MFS_GRAYED)
 End If


 MII.fMask = MIIM_STATE
 EnableCloseButton = -3
 If SetMenuItemInfo(hMenu, MII.wID, False, MII) = 0 Then Exit Function
 ' Activate the non-client area of the window to update the titleb
 ' ar, and
 ' draw the close button in its new state.
 SendMessage hWnd, WM_NCACTIVATE, True, 0
 EnableCloseButton = 0
End Function

Sub Main()
frmPrincipal.Show

Apresenta.Show 1
Apresenta.Timer1.Enabled = True

End Sub
```

Livros Grátis

(http://www.livrosgratis.com.br)

Milhares de Livros para Download:

Baixar livros de Administração
Baixar livros de Agronomia
Baixar livros de Arquitetura
Baixar livros de Artes
Baixar livros de Astronomia
Baixar livros de Biologia Geral
Baixar livros de Ciência da Computação
Baixar livros de Ciência da Informação
Baixar livros de Ciência Política
Baixar livros de Ciências da Saúde
Baixar livros de Comunicação
Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE
Baixar livros de Defesa civil
Baixar livros de Direito
Baixar livros de Direitos humanos
Baixar livros de Economia
Baixar livros de Economia Doméstica
Baixar livros de Educação
Baixar livros de Educação - Trânsito
Baixar livros de Educação Física
Baixar livros de Engenharia Aeroespacial
Baixar livros de Farmácia
Baixar livros de Filosofia
Baixar livros de Física
Baixar livros de Geociências
Baixar livros de Geografia
Baixar livros de História
Baixar livros de Línguas

Baixar livros de Literatura
Baixar livros de Literatura de Cordel
Baixar livros de Literatura Infantil
Baixar livros de Matemática
Baixar livros de Medicina
Baixar livros de Medicina Veterinária
Baixar livros de Meio Ambiente
Baixar livros de Meteorologia
Baixar Monografias e TCC
Baixar livros Multidisciplinar
Baixar livros de Música
Baixar livros de Psicologia
Baixar livros de Química
Baixar livros de Saúde Coletiva
Baixar livros de Serviço Social
Baixar livros de Sociologia
Baixar livros de Teologia
Baixar livros de Trabalho
Baixar livros de Turismo