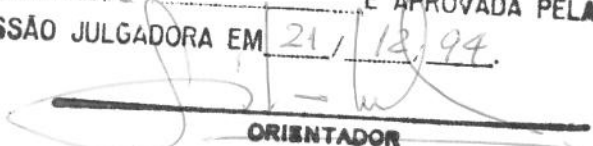


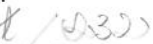
ESTE AMPLAR CORRESPONDE A REDAÇÃO FINAL
DA TESE DEFENDIDA POR Marlene Rita de
Queiroz E APROVADA PELA
COMISSÃO JULGADORA EM 21/12/94.

ORIENTADOR

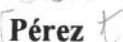
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
DEPARTAMENTO DE ENERGIA

TESE DE DOUTORADO

Estudo Teórico-Experimental da Cinética de Secagem de Bananas

Número de Publicação: FEM 57/94

Autor: **Marlene Rita de Queiroz** 

Orientador: **Silvia Azucena Nebra de Pérez** 

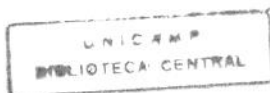
Curso: Engenharia Mecânica

Unidade: Faculdade de Engenharia Mecânica

Área de Concentração: Térmica e Fluidos

Trabalho apresentado à comissão de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Mecânica, como requisito para a obtenção do título de Doutor em Engenharia Mecânica.

Campinas, 21 de Dezembro de 1994
SP - Brasil



UNIDADE	BC
N.º CHAMADA:	+ Unicamp
V.	Q32e
Ex.	
TOMBO BC/	23.545
PROD.	433195
C	☐
D	☒
PREÇO R\$	11,00
DATA	04/02/95

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA CENTRAL - UNICAMP

CM-00065472-6

Q32e

Queiroz, Marlene Rita de
Estudo teórico-experimental da cinética de secagem de bananas /
Marlene Rita de Queiroz. -- Campinas, SP : [s.n.], 1994.

Orientador: Silvia Azucena Nebra de Pérez.
Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade
de Engenharia Mecânica.

1. Secagem. 2. Banana. 3. Difusão. I. Pérez, Silvia Azucena
Nebra de. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de
Engenharia Mecânica. III. Título.

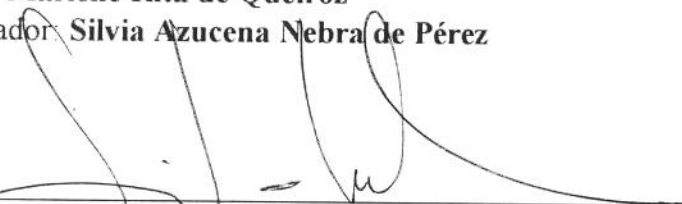
**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
DEPARTAMENTO DE ENERGIA**

Tese de Doutorado

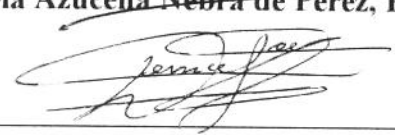
**ESTUDO TEÓRICO-EXPERIMENTAL DA CINÉTICA DE
SECAGEM DE BANANAS**

Autor: **Marlene Rita de Queiróz**

Orientador: **Silvia Azucena Nebra de Pérez**



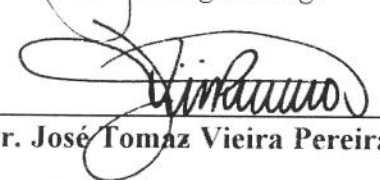
Prof. Dra. Silvia Azucena Nebra de Pérez, Presidente



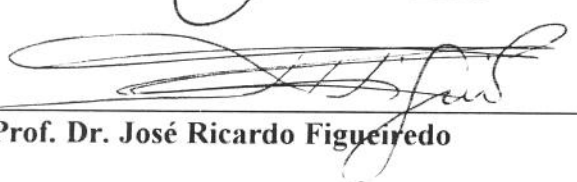
Prof. Dr. Dermeval José Mazzini Sartori



Prof. Dr. João Domingos Biagi



Prof. Dr. José Tomaz Vieira Pereira



Prof. Dr. José Ricardo Figueiredo

Campinas, 21 de dezembro de 1994.

Nomenclatura

A = coeficiente angular da equação do raio	
A_2 = área do orifício da placa-orifício	$[m^2]$
A_w = atividade de água	
B = coeficiente linear da equação do raio	
Bi_m = número de Biot para processos de transferência de massa ($h_m R_0/D$)	
C = constante da equação de BET	
c_{par} = calor específico do ar à pressão constante	$[kJ/kg-^{\circ}C]$
d = diâmetro da secção transversal da banana	$[m]$
D = coeficiente de difusão	$[m^2/s]$
h_m = coeficiente convectivo de transferência de massa	$[m/s]$
h_{iv} = entalpia de vaporização da água à T_{bu}	$[kJ/kg]$
h_l = entalpia da água líquida à T_{bu}	$[kJ/kg]$
h_v = entalpia do vapor de água à T_{bs}	$[kJ/kg]$
L = número total de subdivisões do raio	
M = teor de umidade experimental, bs	$[kg \text{ água}/kg \text{ matéria seca}]$
$M(r,t)$ = teor de umidade teórico local, bs	$[kg \text{ água}/kg \text{ matéria seca}]$
$\bar{M}(t)$ = teor de umidade teórico médio na secção, bs	$[kg \text{ água}/kg \text{ matéria seca}]$
M_0 = teor de umidade inicial, bs	$[kg \text{ água}/kg \text{ matéria seca}]$
M_f = teor de umidade final, bs	$[kg \text{ água}/kg \text{ matéria seca}]$
M_e = teor de umidade de equilíbrio, bs	$[kg \text{ água}/kg \text{ matéria seca}]$
M_M = teor de umidade da monocamada molecular da equação de BET	$[kg \text{ água}/kg \text{ matéria seca}]$
M^* = razão de umidade teórica local (no raio) $(M(r,t)-M_e)/(M_0-M_e)$	
$\bar{M}^*(t)$ = razão de umidade teórica média na secção	

P_i = massa inicial das amostras	[g]
P_{vs} = pressão do vapor de água na saturação	[mmHg]
P_T = pressão atmosférica	[mmHg]
ΔP = pressão diferencial na placa-orifício	[Pascal]
r = coordenada radial	
r^* = raio adimensional	
R = raio da secção transversal da banana	[m]
R_0 = raio inicial da secção transversal da banana	[m]
Δr = subdivisão do raio	[m]
Δr^* = subdivisão do raio adimensional	
r^2 = coeficiente de correlação linear	
RU = razão de umidade experimental $(M_t - M_e)/(M_0 - M_e)$	
SQR = soma dos quadrados dos resíduos	
t = tempo de secagem	[h]
t^* = tempo adimensional de secagem	
Δt = passo de tempo	[h]
Δt^* = passo de tempo adimensional	
T_{bu} = temperatura de bulbo úmido do ar de secagem	[°C]
T_{bs} / T = temperatura de bulbo seco do ar de secagem	[°C]
UR = umidade relativa do ar de secagem	[%]
v = velocidade do fluxo de ar de secagem	[m/s]
X = número de pontos experimentais	

Letras gregas

β = relação entre os diâmetros da placa-orifício e da tubulação (0,75)	
ρ = densidade do ar de secagem a temperatura T	[kg/m ³]
μ = viscosidade do ar de secagem a temperatura T	[Ns/m ²]
ω_{sa} = umidade absoluta de saturação do ar de secagem	[kg água/kg ar seco]
ω_{re} = umidade absoluta real do ar de secagem	[kg água/kg ar seco]

Agradecimentos

A realização deste trabalho só foi possível com a colaboração de diversas pessoas, às quais presto minha homenagem:

À minha querida mãe que, infelizmente não pode presenciar fisicamente esta finalização e torcer, como de outras vezes, agradeço por tudo: o calor do útero, a luz no caminho e, certamente, aqui e agora, sua benção.

À Profa. Dra. Silvia Azucena Nebra de Pérez, pela orientação precisa, pelo respeito aos processos individuais e, principalmente, pela amizade terna.

Ao Sr. Wilson Magário da empresa Comércio de Frutas Magário Ltda., pela doação das frutas utilizadas na pesquisa, reforçando, assim, o intercâmbio Universidade-Empresa.

À Inducel-Espumas Industriais, pela doação do isolante de polietileno expandido, e à BRASCOLA, pela doação da cola adequada, para fixação do isolante ao sistema experimental, contribuindo para o fortalecimento dos laços Universidade-Empresa.

Ao Quincas, Pedro, Rafael e Diogo, que souberam ajudar de forma muito especial: dando força nos momentos difíceis, apoiando nas decisões, entendendo minhas limitações, sempre com muito carinho.

Ao Niderauer, pela grande colaboração e dedicação, ao desenvolver o sistema inteligente para controle fino de temperatura.

À querida amiga Profa. Dra. Maria Helena Damásio pela "força" e colaboração nos testes de análise sensorial.

Ao Prof.Dr. Sylvio Luís Honório, pela grande colaboração nos testes de amadurecimento.

À amizade dedicada de Daniel Pérez, que nasceu neste processo, e proporcionou a solução prática e eficaz para a manipulação dos dados obtidos na aquisição automática.

À Elaine Borghi, pela dedicação e paciência durante os trabalhos com o SAS.

Ao Prof. Dr. Regis Boily da Université Laval, Quebec, Canadá, pela valiosa colaboração no desenvolvimento do sistema de aquisição de dados de peso.

À grande amiga Profa. Dra. Maria Aparecida Silva pela leitura e sugestões finais (só sendo amiga!).

À FAPESP, pelo apoio financeiro ao projeto de pesquisa.

Ao Departamento de Energia da Faculdade de Engenharia Mecânica, pelo empréstimo dos equipamentos utilizados como contrapartida e disposição da infraestrutura de pessoal e de instalação.

Aos colegas do DPPPAG da Faculdade de Engenharia Agrícola, que permitiram minha dedicação prioritária ao desenvolvimento deste trabalho.

Aos "meninos" da oficina (Silvio, Edmur, Geraldo e Zé Carlos), pela dedicação na montagem experimental.

Ao Cercino e José Benedito, técnicos do Cemeq, por não medir esforços para o conserto do equipamento Aminco.

À Rosália, Dago, Chico e Rosa Helena pela disposição sempre presente nos auxílios com os testes experimentais.

À Profa. Mirian Hubinger da FEA, à Profa. Cristina Cunha e ao Prof. João F. C. A. Meyer (Joni), ambos do IMECC, à Profa. Mariângela Amêndola da Feagri, ao Küsel do Centro de computação, ao Clóvis da Feagri, pela atenção nos esclarecimentos prestados em suas áreas específicas.

Ao João Bérnago e ao Jefferson, pelos desenhos realizados.

À Vânia, Rô, Neusa, Rodrigues e Nice, que sempre responderam de forma atenciosa aos apelos.

Aos grandes amigos Gil, Thomazinho e João Batista, pelas "trocas de figurinhas", que em muito contribuíram para o aprendizado.

À Alaíde, que segurou muitas "barras", para que eu pudesse realizar este trabalho.

A todos que acompanharam este processo, "do lado de fora" com carinho e muita "força": grandes amigos!

Resumo

Este trabalho aborda o estudo teórico-experimental da cinética de secagem de bananas da cultivar Nanicão sob diferentes condições do ar do processo.

Apresenta detalhes construtivos de um sistema experimental que permite o controle preciso de temperatura e umidade relativa do ar e o registro automático (sem interferências externas) das medidas destes parâmetros, do peso das amostras e da temperatura do produto, durante o processo. O sistema, novo no Brasil e similar aos utilizados em países desenvolvidos, apresentou bom desempenho para as finalidades propostas.

Os dados experimentais de variação do teor de umidade no tempo de secagem foram tratados segundo modelo de difusão líquida com coeficiente de difusão constante, contemplando fenômenos importantes na secagem de frutas, como o encolhimento do produto durante o processo e efeitos convectivos do ar na superfície do material.

O coeficiente de difusão e convectivo foram determinados, em cada caso, mediante ajuste dos valores calculados pelos modelos aos pontos experimentais, utilizando-se um método de investigação sucessiva de minimização da soma dos quadrados dos resíduos.

Os resultados demonstraram que os fenômenos investigados apresentam clara influência sobre os resultados calculados, melhorando a adequação dos modelos aos dados experimentais. Os efeitos convectivos são mais notórios no início do processo, enquanto que a consideração do encolhimento influencia em todo o período de secagem, porém, marcadamente nos períodos finais.

Summary

This work reports a theoretical and experimental study of the drying kinetics of banana fruit "Nanicão" under different air drying conditions.

The work describes the design details of an experimental system which allows a precise control of air temperature and relative humidity and has an automatic acquisition system. Besides these former parameters, the system also registers automatically the sample weight and fruit temperature during the process. The system, new in Brazil and similar to those used in developed countries, has shown a good performance for its purpose.

The experimental data from moisture content variation during drying were treated according to the liquid diffusion model considering a constant diffusion coefficient and including important phenomena during fruit drying such as the shrinkage and the convective effects of the air on fruit surface.

The diffusion and convective coefficients were determined by fitting the model to the experimental data using the minimization of the sum of the residuals squares in successive trials.

The results demonstrate that the investigated phenomena showed a clear influence on the calculated results improving the adjustment of the models to the experimental data. The convective effects were more evident at the beginning of the process whereas the shrinkage influence was observed all over the drying period, especially at the end of the period.

Sumário

1. Introdução	1
2. Revisão Bibliográfica	4
2.1 Secagem de Frutas	4
2.2 Teorias e modelos de secagem	14
2.2.1 Coeficiente de difusão e coeficiente convectivo de transferência de massa	17
2.2.2 Encolhimento	19
3. Determinação experimental da cinética de secagem	23
3.1 Sistema experimental	23
3.1.1 Equipamento para suprimento do ar de secagem	24
3.1.2 Sistema de distribuição do ar	26
3.1.3 Câmara de secagem	27
3.1.4 Sensores e medidores	28
3.1.5 Sistema de aquisição de dados	29
3.2 Testes experimentais	30
3.2.1 Amadurecimento das amostras	30
3.2.2 Teor de umidade	32
3.2.3 Secagem	33
3.2.4 Encolhimento	34
3.3 Cálculo dos parâmetros	36
3.3.1 Umidade relativa	36
3.3.2 Umidade de equilíbrio	37
3.3.3 Cálculo da vazão de ar	38
3.3.4 Parâmetros reais dos testes	39
4. Análise teórica	40
4.1 Descrição da modelagem	40

4.2 Cálculo do valor médio da razão de umidade na secção	47
4.3 Processo de cálculo	48
4.3.1 Coeficiente de difusão	48
4.3.2 Coeficiente convectivo de transferência de massa na superfície	49
4.3.3 Arquivos dos resultados	50
5. Resultados e Discussão	51
5.1 Resultados Preliminares	51
5.2 Resultados dos estudos de refinamento da malha	52
5.3 Curvas teóricas de secagem obtidas nos modelos	54
5.3.1 Modelo 1: Coeficiente de difusão constante - Condição de equilíbrio na superfície - Sem encolhimento	54
5.3.2 Modelo 2: Coeficiente de difusão constante - Condição convectiva na superfície - Sem encolhimento	58
5.3.3 Modelo 3: Coeficiente de difusão constante - Condição de equilíbrio na superfície - Com encolhimento	62
5.3.4 Modelo 4: Coeficiente de difusão constante - Condição convectiva na superfície - Com encolhimento	66
5.4 Parâmetros D e h_m	70
5.5 Perfil de razão de umidade no interior do produto	73
6. Conclusões e sugestões para trabalhos futuros	81
6.1 Conclusões	81
6.2 Sugestões para trabalhos futuros	82
Referências Bibliográficas	84
Apêndice A	92
Apêndice B	94
Apêndice C	96
Apêndice D	116
Apêndice E	118
Apêndice F	119

Capítulo 1

Introdução

A secagem de frutas é uma forma de conservação e variação do sabor natural, praticada desde os tempos remotos. Provavelmente os homens primitivos já se utilizavam desta arte para prolongar a possibilidade de consumo dos alimentos encontrados em curtos períodos do ano.

A preservação dos alimentos pela remoção de água permite a redução do crescimento microbiano e previne o desenvolvimento da maioria das reações bioquímicas que ocorre na presença de umidade. Assim, a secagem constitui-se num processo altamente viável de se evitar desperdícios, no caso de excesso de produção.

A uva e a ameixa são, sem dúvida, as frutas mais consumidas mundialmente na forma seca. No entanto, o consumo nacional destas passas só é viabilizado pela importação, devido principalmente à inexistência de cultivares adequadas à secagem (Canto et alli, 1987). Segundo os mesmos autores, algumas tentativas foram feitas no sentido de se desenvolver a produção destas passas no Brasil, porém com resultados apenas satisfatórios comparativamente aos similares importados.

Revela-se, portanto, a importância de se incentivar a produção de passas a partir de frutas tropicais, como alternativa para os problemas de perdas em épocas de excesso de produção sazonal e, possivelmente, como contribuição para se reduzir o volume de importação destes produtos.

Neste aspecto, destaca-se a banana, como uma das frutas que deve merecer atenção prioritária por se ajustar perfeitamente aos objetivos anteriores, além de apresentar a vantagem de sua produção encontrar-se amplamente distribuída em todo o território nacional.

O Brasil é o segundo maior produtor mundial de bananas, com uma safra estimada

em 553 milhões de cachos por ano (IBGE, 1992), dos quais, cerca de 40% é perdido devido, principalmente, às más condições de produção, colheita e comercialização (Amaro, 1984). Além disso, dados apresentados pelo IBGE revelam crescimento na produção ano a ano, acompanhado de pequeno aumento na área colhida, o que demonstra ser a bananicultura uma atividade ainda atrativa. O Estado de São Paulo é o segundo maior produtor nacional, responsável por cerca de 10 a 13% da safra total.

Em termos de mercado internacional, observa-se que num período de dezoito anos, as passas de banana constaram frequentemente no rol dos produtos exportados, ainda que em quantidades limitadas e irregulares (Banco do Brasil, CACEX, 1970 a 1987). No entanto, no ano de 1971 atingiram o volume de 400 toneladas, quase quatro vezes superior à quantidade acumulada exportada nos anos de 85, 86 e 87; estes dados pressupõem uma demanda internacional insatisfeita, com provável potencial de comércio exterior para este produto.

Ressalta-se, ainda, o aspecto nutricional da fruta seca que confere à banana passa um importante papel na dieta humana, podendo ser indicada, inclusive, no cardápio das merendas escolares, principalmente, como fonte energética. Como ilustração, apresentam-se, a seguir, dados reportados por Von Loesecke (1945), indicando os principais componentes da fruta seca.

Tabela 1 - Composição da banana seca.

Componente	Quantidade
Água (%)	23,0
Proteína (%)	3,6
Gordura (%)	0,3
Cinzas (%)	2,5
Fibras (%)	1,7
Açúcar (%)	67,5
Ácido (%)	1,4
Calorias (cal/100g)	300

A secagem de bananas para obtenção de passas é uma atividade já implantada e desenvolvida em algumas regiões do país. Em particular, no Estado de São Paulo, na região do Vale do Ribeira, representa expressiva participação local, sendo, contudo, realizada de

forma precária e rudimentar do ponto de vista técnico. Em geral, o processo se caracteriza por grandes perdas de energia e de produto, ocasionadas, principalmente, pela falta de controle dos parâmetros de secagem (tempo e temperatura do ar) e pela inadequação ou má operação das fontes energéticas. Normalmente, o calor necessário para o processo é obtido da queima da lenha nativa, que além da questão ambiental, representa uma fonte de energia bastante onerosa e de fornecimento incerto. Nestas condições, o resultado é um produto final de qualidade desuniforme e elevado tempo de processamento.

A situação colocada sugere que pesquisas orientadas para o aprimoramento de estudos de tecnologias e processos de secagem de bananas podem ter, no futuro, boa receptividade para prováveis propostas de difusão dos conhecimentos gerados.

Existem diversos trabalhos que tratam da obtenção de passas a partir da banana, mas em geral, não enfocam a cinética do processo de migração de água no interior do produto.

Neste trabalho, será abordado o aspecto da modelagem do processo de secagem de bananas, baseado na teoria da difusão líquida, dando ênfase ao tipo de condição de contorno considerada para a superfície da fruta e considerando o fenômeno de encolhimento, que neste caso é bastante significativo. Contemplando estes fenômenos, propõe-se a determinação experimental do coeficiente de difusão e do coeficiente convectivo de transferência de massa. A adequação do modelo será analisada, com base nos dados experimentais de variação de umidade durante o tempo de secagem.

Finalmente, ressalta-se que não foram encontradas referências nacionais ou internacionais que abordam estes fenômenos no tratamento teórico-experimental especificamente para a secagem de bananas, como são tratados neste trabalho.

Capítulo 2

Revisão Bibliográfica

2.1 Secagem de frutas

Diversos tipos de frutas já foram testadas quanto à aptidão para o consumo na forma seca, algumas delas tradicionalmente consumidas em âmbito mundial, outras, ainda a título experimental. Os conhecimentos obtidos com a secagem de frutas e vegetais, de forma geral, poderão ser utilizados neste trabalho, já que alguns fatores condicionantes, como o encolhimento e o elevado teor de umidade inicial apresentam metodologias de abordagem teórica e experimental bastante semelhantes.

Uva

A uva, junto à ameixa, é, sem dúvida, a fruta mais consumida na forma de passas, o que contribui para atrair o interesse em pesquisas com este produto.

Vagenas e Marinos-Kouris (1991a) apresentaram um modelo matemático para o projeto otimizado de um secador de túnel industrial para uvas Sultanas, baseado na minimização do consumo de calor. O projeto do secador consistia na determinação do tamanho e condições de operação que otimizassem uma função objetivo, cujos critérios eram a minimização do consumo energético, a maximização da produção e o limite superior da temperatura do produto. As variáveis de otimização eram a temperatura e umidade do ar de secagem e a espessura inicial das frutas na bandeja. Mais tarde, estes mesmos autores (Vagenas e Marinos-Kouris, 1991c) utilizaram o método de elementos finitos para estudar o fenômeno do encolhimento durante a secagem de uvas. O modelo foi testado também para passas de Corinto, batata e cenoura.

A utilização da energia solar na secagem de uvas também esteve presente nas

investigações tecnológicas, podendo-se citar as contribuições de Goswami et alli (1991) e Bolim e Huxsoll (1980).

Goswami et alli (1991) desenvolveram um secador solar tipo estufa em forma de domo geodésico com estrutura de madeira e cobertura com plástico transparente, dotado de uma superfície absorvedora feita de plástico preto, localizada a uma distância de 30,5 cm (1 pé) da cobertura. Observaram que este tipo de secador promove aumentos da temperatura ambiente da ordem de 22°C no verão e de 10°C no inverno e enfatizaram a facilidade e rapidez de construção, conveniente para países em desenvolvimento.

Também, Bolin e Huxsoll (1980) apresentaram diversas propostas de utilização da energia solar na secagem de frutas, através da análise de diferentes tipos de secadores.. Tais propostas, mesmo as mais simples, apresentaram aumento de eficiência quando comparadas com um processo de exposição direta ao sol, utilizado como controle.

Riva e Masi (1990) estudaram o processo de desidratação osmótica em uvas brancas, seguida de secagem com ar quente (60°C e 12% de umidade relativa), para avaliar a conveniência de se utilizar esta técnica como uma etapa de pré-concentração na preparação de passas. Analisaram os fatores que influenciam o processo osmótico, com base na cinética de remoção de água, tais como: a concentração osmótica, a temperatura e a natureza do meio. Observaram que, de forma geral, esta técnica contribui para aumentar a velocidade de secagem das uvas e reduz a necessidade energética no processo global.

No Brasil, a produção de uva é destinada totalmente à fabricação de vinhos e ao consumo "in natura". Mesmo assim, alguns pesquisadores se dedicaram ao tema de produção de passas com a perspectiva de contribuírem para a redução do volume de importação, que atualmente abastece o mercado interno na sua totalidade.

A iniciativa do Instituto de Tecnologia de Alimentos, por exemplo, através do trabalho de Silveira et alli (1983), demonstra que quatro variedades de uva sem semente, desenvolvidas pelo Instituto Agrônomo de Campinas, de forma geral, apresentaram boa aptidão para a secagem, verificada através de testes de análise sensorial.

Mais tarde, Canto et alli (1987) confirmaram estes resultados através de testes de mercado interno e externo e indicaram as passas da cultivar Maria como possíveis substitutas às similares importadas, tanto para o consumo direto quanto para a industrialização. As demais, com a possibilidade de serem melhoradas para o consumo direto, seriam mais viáveis à utilização industrial, como matéria-prima no setor de panificação, laticínios, sorveteria, etc.

Miranda (1991) produziu uva passa de quatro variedades colhidas em Lagoa Seca, município do Estado da Paraíba e analisou a influência do pré-tratamento e temperatura de secagem sobre a velocidade de remoção de umidade e qualidade final do produto. Observou que as variedades Soraya e Piratininga, ambas com semente, apresentaram melhor aptidão para a produção de passas que as outras variedades estudadas. Também, o tratamento com emulsão de ácido oleico 2% e carbonato de potássio 2,5%, à temperatura ambiente, por 15 minutos, proporcionou produto com melhor aspecto. Recomendam, ainda, que a umidade final do produto não seja superior a 15% e nem inferior a 10%.

Ameixa

A ameixa seca é um produto que apresenta grande aceitação no mercado mundial, seja no consumo direto ou como ingrediente na confecção de massas, iogurtes, sorvetes, etc.

Weitz et alli (1989) investigaram o efeito de diferentes pré-tratamentos de imersão sobre o processo simulado de secagem solar de ameixas. Concluíram que o pré-tratamento com "Methyl oleate" 4% foi o mais efetivo, resultando em velocidades de secagem maiores e produtos finais com melhor aparência. Além disso, indicaram como alternativa mais econômica, o emprego de emulsão de óleo de oliva e carbonato de potássio.

Em termos de equipamentos para secagem de ameixa, Gentry, Miller e Claypool (1965) discutiram a forma tradicional do processo contra-corrente em túneis e apresentaram resultados de aumento de 37% na capacidade do secador no caso da operação em fluxo paralelo, ou seja, no caso em que as frutas e o ar são orientados no mesmo sentido, ao atravessarem o túnel.

Rattanapant et alli (1988) tomaram como base o modelo de Bakker-Arkema (1974), citado pelos mesmos, para simulação de secagem em leito fixo de ameixa considerando as cinéticas de secagem em camada delgada sob variação de temperatura, umidade relativa e velocidade do ar. Constataram boa concordância dos resultados teóricos com os experimentais. O secador piloto contínuo utilizado para o modelo matemático da secagem em camada delgada era constituído de três compartimentos pelos quais passavam as ameixas, dispostas sobre esteiras rolantes. Os coeficientes do modelo foram obtidos e suas dependências com relação aos parâmetros de secagem foram determinados através de regressão linear múltipla. Posteriormente, Rattanapant, Lebert e Bimbenet (1990) utilizaram o mesmo modelo para o estudo de secagem de ameixa e cubos de cenoura. O sistema experimental utilizado neste

trabalho foi diferente do anterior, consistindo de câmara de secagem com condições do ar controladas e sem movimento do produto. Aprofundaram as discussões sobre as diferenças obtidas entre os resultados teóricos e experimentais na simulação de secagem em leito profundo. Observaram que as maiores fontes de erro eram os caminhos preferenciais traçados pelo ar ao atravessar a camada de produto e a superfície efetiva do elemento em contato com ar de secagem.

No Brasil, Silveira et alli (1978) realizaram estudos preliminares de secagem de ameixa cultivar Carmesim para verificar sua aptidão quanto ao consumo na forma seca, comparando-a com produto similar encontrado no comércio. Foi realizada imersão por 20 segundos em solução de NaOH 0,15% em ebulição, para romper a película de cêra que envolve as frutas e conseqüentemente facilitar a remoção de umidade. A secagem foi realizada em secador-piloto tipo bandeja à temperatura de 65°C, até teor de umidade próximo a 20%. Os resultados da análise sensorial demonstraram que a ameixa seca Carmesim possui textura mais firme e polpa mais aderente à semente que os produtos comerciais, mas preparada em calda foi julgada aceitável. Foi sugerido que o amadurecimento completo da fruta no pé poderia contribuir para a melhoria das características organolépticas na forma seca.

Canto et alli (1987) submeteram a ameixa seca Carmesim a um teste de mercado, enviando amostras para avaliação a diversas indústrias, distribuidoras e importadoras de frutas secas. A preparação da amostra envolveu imersão em solução de NaOH a 0,15% por período de 15 a 40 segundos e pré-secagem osmótica em xarope a 45°C com concentração em torno de 70 a 72°Brix, até 56,7% do peso inicial. O produto final foi considerado satisfatório, podendo ser utilizado como substituto de parte do similar importado. A pré-secagem osmótica foi avaliada como etapa importante na melhoria da qualidade final da fruta seca.

Maçã

A maçã é um produto que tem constado com bastante frequência como objeto de estudo nas investigações técnico-científicas relacionadas ao processo de secagem.

O processo de desidratação osmótica de maçã foi reportado por Videv et alli (1990) e Conway et alli (1983) na tentativa de determinar a influência dos parâmetros envolvidos para o equacionamento posterior.

A secagem solar de maçã em rodela, após tratamento com SO₂ para evitar o escurecimento, foi analisada por Bhardwaj e Kaushal (1990). Concluíram que a cultivar

Golden Delicious e o pré-tratamento de imersão com 2500 ppm de SO_2 formam a melhor combinação para se conseguir um produto final com qualidade mais alta.

Com relação ao modelamento do processo de secagem de maçãs, Fornell, Bimbenet e Almin (1980) modificaram a equação proposta para o período de taxa constante e a adaptaram para obter a curva característica de secagem. Verificaram que o método pode ser aplicado com sucesso a produtos de estrutura homogênea e com teor de umidade inicial próximo ao teor de umidade crítico fictício.

Alzamora, Chirife e Viollaz (1979) validaram um modelo simplificado de transferência de calor para estimar variações de temperatura durante a secagem de frutas e vegetais, entre eles, a maçã. Encontraram resultados satisfatórios, ressaltando a simplicidade do modelo em função de apresentar solução analítica, bastando apenas o conhecimento da inclinação da curva de secagem e do valor da difusividade térmica.

A técnica de elementos finitos foi utilizada por Lomauro e Bakshi (1985) para prever a difusão de umidade em alimentos estocados, entre eles a maçã, considerando geometria cilíndrica com elementos isoparamétricos com 4 nós. Posteriormente, Mattea, Urbicain e Rotstein (1989) utilizaram a mesma técnica para estimar a condutividade térmica de maçã e pera em função do teor de umidade.

Sereno e Medeiros (1990) utilizaram um algoritmo implícito de diferenças finitas para integrar as equações diferenciais parciais das Leis de Fick e Fourier para diferentes geometrias, considerando constante o produto da difusividade efetiva pela densidade aparente do sólido seco. O modelo foi testado para dados experimentais de secagem de fatias de maçã e cubos de cenoura, apresentando boa concordância com os resultados teóricos.

Fusco et alli (1991) propuseram um modelo difusional para analisar o processo de secagem de alimentos considerando o fenômeno do encolhimento. As equações diferenciais foram resolvidas numericamente pela técnica de diferenças finitas com fronteira móvel, para possibilitar a inclusão da relação do volume com o teor de umidade. O modelo foi testado para dados de secagem de fatias de maçã obtidos na literatura, demonstrando boa concordância com os valores experimentais.

Outras Frutas

Diversas outras frutas têm sido investigadas quanto ao comportamento durante o processo de secagem, com distintas finalidades.

O damasco foi analisado por Berna et alli (1990) quanto à influência dos parâmetros de velocidade do fluxo e temperatura do ar sobre a cinética de secagem. As faixas estudadas foram de 30 a 60°C e de 0,2 a 2,0 m/s, respectivamente, para a temperatura e velocidade do ar de secagem. Concluíram que a influência da temperatura sobre a taxa de secagem é evidente, ao passo que a influência da velocidade do fluxo do ar é marcante apenas para valores inferiores a 1,0 m/s. Outro fato importante observado é que a secagem é sempre mais rápida para escoamento do ar paralelo ao leito de frutas, o qual apresenta valores de difusividade efetiva superiores ao arranjo perpendicular. Atribuem este fato à possibilidade de estar havendo transferência de massa nas duas faces do damasco no caso do escoamento paralelo e, na disposição perpendicular, ao indesejável traçado de caminhos preferenciais pelo ar, com relação ao leito de frutas.

Em outro trabalho, Vagenas e Marinos-Kouris (1991b) analisaram a cinética de desidratação de damascos com relação aos efeitos dos mesmos parâmetros (temperatura e velocidade do ar), acrescidos de estudos da influência do pré-tratamento de imersão numa solução de NaOH 0,5% a 80°C por 30 segundos. Os testes foram realizados num secador de laboratório, tipo túnel, até teor de umidade de 25% (base úmida). Os dados experimentais foram analisados segundo modelo difusivo, sob as seguintes hipóteses: o coeficiente de difusão é o mesmo em todas as direções (material isotrópico) e o encolhimento da amostra durante a secagem tem uma dependência linear com o teor de umidade. As equações diferenciais resultantes foram resolvidas pela técnica de elementos finitos, na forma de prismas triangulares de 6 nós. Contrariando afirmações de outros autores, demonstraram que o pré-tratamento não influencia a velocidade de secagem e, principalmente, que para baixas velocidades do fluxo de ar, a resistência externa à transferência de umidade é quem controla totalmente o processo de remoção da mesma. Além disso, contestaram com veemência o critério do número de Biot de massa para avaliar a significância relativa da resistência interna e externa à transferência de massa. Em seu lugar, propuseram a análise dos gráficos da região de confiança dos coeficientes de difusão e de transferência de massa na superfície de contorno.

Outros trabalhos também reportando a secagem de damasco foram citados anteriormente (Lebert e Bimbenet, Bolin, Huxsoll e Salunkhe, 1980).

A cinética de secagem de pêssgo foi estudada por Gimeno et alli (1988), abordando a influência da temperatura e velocidade do ar e tempo de sulfitação sobre os coeficientes de transferência de calor e massa. O descascamento químico das amostras foi feito em solução

de NaOH a 4%, à temperatura de 45°C, por 2 minutos. Observaram que apenas a temperatura e a velocidade do fluxo de ar são as variáveis que influenciam os coeficientes de transferência, para os quais são apresentadas correlações empíricas não lineares. O modelo para calcular as taxas de secagem foi baseado em trabalho anterior, e a integração das equações resultou na obtenção do tempo de secagem, cujas análises indicaram boa concordância teórica-experimental dos resultados.

O caqui, das cultivares Taubaté, Giombo e Ramaforte, foi analisado por Silveira et alii (1982), quanto à sua aptidão ao processamento na forma seca. O processo foi realizado em secador de bandejas descontínuo, com fluxo tangencial, à temperatura de 45°C e velocidade de 3 m/s, até teor de umidade próximo a 22%. Além da qualidade do produto final, outro parâmetro importante analisado foi a aptidão das variedades ao descascamento químico realizado através de imersão em solução de NaOH a 2% em ebulição durante 4 minutos. Os resultados mostraram que, para fins de processamento, a cultivar Taubaté apresentou maior viabilidade, uma vez que seu descascamento pode ser realizado quimicamente, e o produto seco apresentou boas qualidades organolépticas. A cultivar Giombo foi aquela que apresentou melhores qualidades organolépticas na forma seca, porém não se mostrou adequada ao descascamento químico. A cultivar Ramaforte não demonstrou boas qualidades organolépticas no produto final.

Ortiz, Cooke e Quiros (1982) apresentaram propostas de melhoria no processo de secagem de caju (pseudo-fruto) que envolviam: pré-tratamento para aumentar a permeabilidade da fruta, pré-secagem osmótica em solução de açúcar e secagem complementar até teor de umidade próximo a 16%, em secador de cabine com ar forçado, ou através da utilização da energia solar (direta e secador solar). Os resultados indicaram que o produto final apresentou boa qualidade e que o processo poderia contribuir para melhorar a utilização do caju.

O abacaxi, submetido à secagem osmótica, foi estudado por Rahman e Lamb (1990) com relação aos efeitos da temperatura e concentração da solução e tempo de osmose. A difusão do soluto foi analisada pelo modelo de Magee.

Mendonça (1991) secou abacaxi em rodela e em pedaços, pré-tratados em solução de metabissulfito de sódio a 2% por 15 minutos. O processo foi realizado em secador de bandejas, variando-se a temperatura do ar entre 44,3 e 61°C. O produto final de melhor qualidade (cor, textura e aroma) foi na forma de pedaços, obtidos com o ar de secagem à temperatura de 60,4°C e umidade relativa de 14%.

Outros autores reportaram a secagem de manga em pedaços (Kalra e Bhardwaj, 1980) e "Ber" (*Ziziphus mauritiana* Lam.), fruta do Norte da Índia, (Khurdiya, 1980).

Vegetais

Conforme mencionado anteriormente, os conhecimentos teóricos e experimentais adquiridos em estudos de secagem de vegetais podem, na maioria das vezes, ser considerados em metodologias de processos similares para frutas, pois estes dois produtos apresentam comportamentos bastante semelhantes quando submetidos à secagem, principalmente, com relação ao elevado teor de umidade inicial e à ocorrência do fenômeno do encolhimento.

No caso da batata, por exemplo, são encontrados artigos que analisam a viabilidade da utilização da energia solar na secagem (Islam e Flink, 1982), bem como, a modelagem do processo, baseada na equação da difusão (Yusheng e Poulsen, 1988; Lamberg, 1989). O efeito do encolhimento sobre o comportamento de fatias de batata durante a secagem foi estudado por Suarez e Viollaz (1991), cujo modelo correspondeu adequadamente aos dados experimentais, para tempos de secagem relativamente pequenos.

A cenoura também é reportada com certa frequência, principalmente em testes de modelos, como é o caso de Mulet et alli (1983) que analisaram a cinética de secagem utilizando a equação de Fick e representando o coeficiente de difusão através de uma relação com a temperatura, do tipo Arrhenius.

Posteriormente, Mulet, Berna e Rossello (1989) avançaram mais nas teorias de modelagem para representar o processo de secagem de cenouras, propondo três formas de se analisar a operação, mediante a consideração do fenômeno de encolhimento e da dependência da difusividade efetiva com o teor de umidade e temperatura do produto. A solução das equações incluiu o tratamento de fronteiras móveis, resolvido pelo método de diferenças finitas.

A utilização da energia solar para secagem de cenouras foi discutida por Berna et alli (1988), que também apresentaram um protótipo experimental, comparando-o com o processo de exposição direta ao sol. Por outro lado, Laguerre e Lebert (1990) estudaram a resposta de cenouras submetidas a variações abruptas das condições de secagem, como uma forma de utilização em processos realizados em leitos profundos.

Outros produtos foram também estudados com relação ao comportamento durante a secagem, cujos resultados constam com menor frequência na literatura, a saber: mandioca

(Ajibola, Abonyi e Onayemi, 1988); cogumelos (Yapar, Helvacı e Peker, 1990); nabo e couve-flor (Sharma, Sharma e Garg, 1991).

Banana

O Brasil é o segundo maior produtor mundial de bananas, fato que, não descartando outros argumentos, justifica "de per si" novas propostas de processamento do produto ou de melhorias de processos tradicionais realizados majoritariamente de forma artesanal.

Travaglini (1986) afirmou que, em geral, a banana passa brasileira é produzida sem padrões definidos de qualidade quanto à coloração, textura, sabor e aroma, sendo encontrada tradicionalmente no mercado interno.

A primeira unidade de secagem de banana data de cerca de 60 anos atrás, em Itanhaém, São Paulo e, atualmente, a região do litoral sul do Estado conta com doze fábricas, com capacidade instalada de 500 toneladas por mês, ao todo, segundo informações de Batista (1990).

Apesar da existência de diversos trabalhos que reportam a produção de banana passa, poucos enfocam a modelagem do processo.

Artigos de divulgação sobre os procedimentos para obtenção de passas de banana enfatizam a questão sanitária, as características e composição química desejáveis no produto final e citam alguns métodos de se evitar o escurecimento enzimático (Castro, 1981; Sampaio, 1965; Homero, 1971).

Outros trabalhos de cunho científico enfocam a secagem osmótica de banana (Nur, 1976; Adambounou e Castaigne, 1983), os métodos prévios à secagem para inibir o escurecimento enzimático, como pré-aquecimento (Fonseca, Nogueira e Anichio, 1974a), tratamento com solução de metabissulfito (Fonseca, Nogueira e Anichio, 1974b; Brekke e Allen, 1967) e pré-tratamento com vapor (Mowlah et alii, 1983), além da influência da embalagem e período de armazenamento sobre a qualidade do produto final (Fonseca, 1976).

Haendler (1966), entre outras recomendações, indicou algumas condições para o processo de secagem de banana, a saber: temperatura de 70°C e velocidade do ar de 3 m/s.

Andrade et alii (1980) estudaram a influência de diversas fases de amadurecimento sobre a cinética de desidratação ambiental de banana prata, analisada através de regressões polinomiais. Apresentaram também a composição química do produto final, assim como esquemas representando a deformação sofrida pela fruta desidratada e diagrama de

escurecimento, todos em função do índice de amadurecimento. O teor de umidade final foi de 30% para as bananas verdes e 26% para as maduras.

A utilização de processos distintos para produzir diferentes desidratados a partir da banana foi reportada por Brekke e Allen (1967). Trabalharam com secagem de fatias de banana, com ar à velocidade de 10 m/s e temperatura de 82°C nas primeiras 2 horas, e 60°C até o final, com o objetivo de obtenção de passas. Secaram purê de banana em tambores rotativos com a finalidade de produzir flocos de farinha. Finalmente, processaram fatias de banana por liofilização. Os produtos resultantes foram avaliados quanto à cor, teor de umidade e estabilidade, durante armazenagem por período de um ano, às temperaturas de 13, 24 e 38°C. Foi analisada também a influência do pré-tratamento em solução de NaHSO₃ a 1% por 2 minutos, bem como o teor residual de SO₂ nos desidratados. As bananas em fatias apresentaram, ao final do processo de secagem, teor de umidade em torno de 17 a 20%.

Mowlah et alli (1983) utilizaram a lei de difusão de Fick para estudar o fenômeno de transporte de umidade e determinar o tempo de secagem em experimentos com cubos de banana. Além disso, analisaram a ocorrência do escurecimento durante a secagem com a finalidade de investigar uma técnica adequada para produzir desidratados de boa qualidade. Concluíram que a transferência de umidade durante a desidratação da banana, sob as condições experimentais impostas (temperatura de bulbo seco de 60°C, temperatura de bulbo úmido de 30°C e velocidade do ar de 1,5 m/s) segue o mecanismo difusional. Quanto ao escurecimento das amostras, observaram que este apresenta uma tendência de crescimento proporcional ao tempo de secagem.

Levi, Ramirez-Martinez e Padua, (1980) desenvolveram um novo produto de banana, através de secagem de amostras pré-tratadas cortadas pela metade no eixo longitudinal. O pré-tratamento envolveu branqueamento e sulfitação e a secagem foi realizada num equipamento especial dotado de controle automático de temperatura e umidade relativa, sob as seguintes condições: 70°C (umidade relativa de 30%) nas primeiras 3 horas e 55°C (umidade relativa de 50%) durante um período de 3 a 6 horas. O produto desidratado apresentava teor de umidade na faixa de 30 a 40% e foi denominado de banana de umidade intermediária. Analisaram a influência do tratamento térmico e sulfitação sobre algumas características de qualidade do produto final, quais foram: firmeza, velocidade de desidratação e cor.

Nogueira (1991) estudou o processo de secagem de bananas da cultivar Nanica, obtidas no interior do Estado do Rio de Janeiro, em um protótipo operado nas condições de

temperatura de 50, 60 e 70°C e de velocidade do ar de 0,5, 1,0 e 1,5 m/s. Os resultados experimentais foram ajustados por dois modelos: o modelo de difusão para geometrias cilíndricas, considerando o coeficiente de difusão constante e o modelo empírico desenvolvido por Sazhin (1984) e detalhado por Strumillo e Kudra (1986). A equação da difusão com as hipóteses anteriores foi resolvida analiticamente, adotando-se o número de cinco termos da série. Além disso, foram determinadas as isotermas de sorção da banana, ajustando-se os dados experimentais às equações GAB e BET. O autor concluiu que os modelos que melhor representaram os dados experimentais das curvas de secagem e das isotermas de sorção foram, respectivamente, o difusivo e o de BET.

Em termos de equipamentos destinados à secagem de bananas, Bowrey et alli (1980) reportaram a iniciativa da fábrica australiana Hamey & Co., que desenvolveu um secador de cabine, com capacidade de 500 quilos de frutas descascadas e dispostas em bandejas, contendo aproximadamente 5 quilos de frutas por metro quadrado. O equipamento era dotado de válvulas automáticas que permitiam a exaustão do ar úmido quando este atingia 35% de umidade relativa e a ligação de um aquecedor elétrico quando a temperatura da cabine fosse inferior a 50°C. O processo operava 24 horas por dia, necessitando de 72 horas para que a fruta atingisse o teor de umidade estabelecido (14 a 15%). O ar de secagem, com fluxo paralelo às bandejas de banana, era previamente aquecido por um coletor solar de 50 metros quadrados de área, na forma de telhado, que permitia a elevação da temperatura ambiente a 60°C em dias ensolarados e a 50°C em dias nublados, apresentando eficiência energética da ordem de 40% e 70%, respectivamente.

2.2 Teorias e modelos de secagem

Uma análise global dos trabalhos publicados referentes à modelagem do processo de secagem permite a distinção de duas formas de abordagem do tema: uma que se baseia principalmente nas condições externas, como a temperatura, umidade e velocidade do ar, correlacionando-as com a velocidade de secagem do sólido, e outra que considera não apenas as condições externas, mas também os mecanismos de migração interna de umidade e suas possíveis consequências sobre as alterações físicas, químicas e biológicas do produto. No último caso, a modelagem deve ainda estabelecer, entre os diferentes mecanismos de movimento de umidade no interior do produto, aquele que será considerado como

determinante. Neste aspecto, cabe ressaltar que, de forma geral, os modelos de difusão líquida têm apresentado bons resultados em aplicações de secagem de grãos, frutas e cereais, provavelmente, devido ao fato destes produtos não apresentarem um período de taxa constante nas curvas características de secagem, o que permite concluir que o processo é totalmente controlado pelas condições internas do material.

Quando se trata de secagem de produtos biológicos, em especial os alimentos, pode-se observar que os autores apresentam preferência pelos modelos de difusão líquida (Steffe e Singh, 1980b; Kumar, Blaisdell e Herum, 1982; Ramaswamy e Lo, 1983; Tolaba, Aguerre e Suarez, 1989; Tolaba, Suarez e Viollaz, 1991). Estes trabalhos referem-se especificamente à secagem de grãos e são baseados na equação da difusão líquida (Lei de Difusão de Fick), a qual postula que o fluxo de massa é proporcional ao gradiente de concentração dentro do sólido. Crank (1975) apresentou diversas soluções analíticas para a equação da difusão, considerando diferentes condições iniciais e de contorno. Tratou também de casos onde a difusividade varia linearmente ou exponencialmente com a concentração de água. No entanto, estas soluções somente se aplicam a sólidos com formas geométricas simples e regulares. Em geral, o coeficiente de difusão é obtido por ajuste das curvas teóricas aos dados experimentais de secagem e é também denominado difusividade efetiva, por englobar efeitos de diferentes fenômenos durante a migração de umidade.

No caso de produtos com elevado teor de umidade inicial, como frutas e vegetais, os modelos de secagem baseados na equação de difusão líquida aparecem com bastante frequência, apresentando, em geral, bons resultados. Os modelos mais simples consideram difusividade constante e desprezam o fenômeno do encolhimento (Lomauro e Bakshi, 1985; Lamberg, 1989; Nogueira, 1991); esta última consideração constitui uma hipótese questionável, principalmente quando se refere à secagem de produtos que sofrem grandes deformações durante o processo.

Alguns autores, na tentativa de melhorar seus resultados, ao utilizar a equação da difusão, têm investigado a dependência da difusividade com a temperatura (Suarez, Viollaz e Chirife, 1980; Steffe e Singh, 1980a; Mulet et alli, 1983; Berna et alli, 1990); ou com o teor de umidade (Silva e Nebra, 1988); com a temperatura e o teor de umidade (Igbeka, 1982); com a temperatura, a umidade relativa e a velocidade (Yusheng e Poulsen, 1988) ou, ainda, com a temperatura e °Brix (Conway et alli, 1983). Outros enfatizam a importância de se considerar o fenômeno do encolhimento do produto durante a secagem, mesmo com a hipótese

de difusividade constante (Vagenas e Marinos-Kouris, 1991b; Suarez e Viollaz, 1991) e, finalmente, aqueles que contemplam, em seus modelos, a variação da difusividade e o fenômeno do encolhimento, em distintos níveis de complexidade (Misra e Young, 1980; Fioreze, 1986; Mulet, Berna e Rossello, 1989; Parti e Dugmanics, 1990; Vagenas e Marinos-Kouris, 1991c).

No entanto, a hipótese da difusão líquida como o único mecanismo de movimento de umidade tem sido submetida a severas críticas, principalmente porque ao se utilizar esta teoria admite-se implicitamente a consideração de difusão isotérmica, ou seja, desprezam-se os gradientes de temperatura no interior do sólido. Esta ponderação foi feita por Fortes e Okos (1980) num estudo revisional das diversas teorias de secagem, onde apresentam, inclusive, as formas mais modernas de se tratar a transferência simultânea de calor e umidade nos chamados corpos capilares-porosos. Fundamentada em princípios da termodinâmica dos processos irreversíveis, a teoria de Luikov, citado por Fortes e Okos (1980), considera o fenômeno da difusão térmica de umidade nos processos de transferência de calor e massa no interior de corpos capilares-porosos. A teoria de Philip e De Vries (1957), também citados por Fortes e Okos (1980), denominada "abordagem mecanística", admite que o movimento de umidade ocorre por difusão de vapor e do líquido por capilaridade.

Utilizando um modelo misto, baseado em conceitos da termodinâmica dos processos irreversíveis e na abordagem mecanística, Fortes (1982) propôs uma nova teoria para o estudo dos processos de secagem, incorporando as isotermas de sorção nas equações de conservação de massa e energia e considerando o gradiente de umidade de equilíbrio como força motriz para a migração de água sob condições isotérmicas.

No entanto, na maioria das vezes, o tratamento utilizado para se considerar o fenômeno acoplado da transferência de calor e massa em processos de secagem de grãos admite difusão líquida interna e evaporação somente na superfície do sólido, onde se evidencia o acoplamento (Balaban, 1989; Haghighi et alli, 1990; Parti e Dugmanics, 1990), ou ainda, parte do modelo de Luikov (1961) e despreza os termos de difusão térmica, o que leva a um sistema de equações cujo acoplamento aparece somente no equacionamento da transferência de calor (Husain, Chen e Clayton, 1973).

No caso específico dos produtos com alto teor de umidade inicial, ocorre a mesma situação, de forma geral, sendo as abordagens dos processos simultâneos de transferência de calor e massa feitas através de equacionamentos bastante simplificados (Mulet, Berna e

Rossello, 1989; Sereno e Medeiros, 1990; Yapar, Helvaci e Peker, 1990; Maroulis, Kiranoudis e Marinou-Kouris, 1991).

Neste texto fica evidenciada a preferência dos autores por modelos mais simplificados para o estudo de processos de secagem de produtos biológicos, o que sugere a existência de dificuldades na opção pelas abordagens mais completas. Nesse sentido, os próprios Fortes e Okos (1980) alertam para a escassez ou inexistência completa de dados relativos às propriedades de produtos biológicos, e recomendam grandes esforços nesta área.

2.2.1 Coeficiente de difusão e coeficiente convectivo de transferência de massa

Conforme apresentado na introdução deste trabalho, pretende-se estudar o modelo de difusão líquida aplicado ao processo de secagem de bananas do ponto de vista da cinética de secagem do produto. Desta forma, alguns parâmetros e fenômenos envolvidos, como o coeficiente de difusão, o coeficiente convectivo de transferência de massa e o encolhimento da fruta devem ser tratados com maior relevância, tendo em vista que representam os pontos a serem trabalhados e avaliados com relação à aplicabilidade final do modelo.

Coeficiente de difusão

De forma geral, o coeficiente de difusão ou difusividade efetiva é obtido mediante o ajuste dos valores calculados com o modelo aos pontos experimentais, baseado em um determinado método de minimização de erros.

As abordagens mais comuns para a análise da variabilidade do coeficiente de difusão em função dos parâmetros de secagem ou do teor de umidade do produto, geralmente aparecem através de duas formas de tratamento.

Alguns autores propõem inicialmente uma expressão para o coeficiente de difusão e determinam as constantes da respectiva equação, minimizando os resíduos entre os valores teóricos e experimentais do teor de umidade em função do tempo (Chu e Hustrulid, 1968; Husain, Chen e Clayton, 1973; Misra e Young, 1980; Igbeka, 1982; Silva e Nebra, 1988; Mulet, Berna e Rossello, 1989; Kechaou e Roques, 1989; Parti e Dugmanics, 1990). Esta forma de abordagem é mais frequente quando se considera uma dependência do coeficiente de difusão com alguma propriedade do produto durante a secagem, como o teor de umidade local, ou o teor de umidade inicial, ou ainda, a temperatura do produto. Dentre os autores anteriormente citados, Parti e Dugmanics (1990) afirmaram que a utilização de um coeficiente

de difusão constante em lugar de um variável pode resultar em modelos mais simples e com nível adequado de precisão.

Quando as correlações são feitas com os parâmetros do ar de secagem, comumente os modelos são desenvolvidos para coeficientes de difusão constante, a uma dada situação de secagem. Os valores assim obtidos do coeficiente de difusão são posteriormente correlacionados com os parâmetros referentes a cada situação do ar de secagem, sendo frequente o uso de funções do tipo Arrhenius para expressar a dependência com a temperatura (Suarez, Viollaz e Chirife, 1980; Steffe e Sing, 1980; Mulet et alli, 1983; Berna et alli, 1990; Vagenas e Marinos-Kouris, 1991c).

Coeficiente convectivo de transferência de massa

Um dos pontos criticados nos modelos de difusão líquida aplicados à secagem é a consideração de que a superfície do material permanece em equilíbrio com o ar de secagem durante todo o processo. Por isso, diversos autores frequentemente adotam um modelo que combina a difusão líquida internamente ao sólido com a evaporação superficial, o que equivale a considerar uma condição de contorno convectiva para a superfície do material no conjunto de equações diferenciais (Husain, Chen e Clayton, 1973; Misra e Young, 1980; Lamberg, 1989; Kechaou e Roques, 1989; Yapar, Helvacı e Peker, 1990; Sereno e Medeiros, 1990; Parti e Dugmanics, 1990; Haghighi et alli, 1990; Vagenas e Marinos-Kouris, 1991b e 1991c; Jayas et alli, 1991).

As tentativas para se determinar o valor do coeficiente convectivo de transferência de massa para material biológico aparecem na literatura de formas variadas, ainda que restritas. Parti e Dugmanics (1990) utilizaram uma equação empírica para calcular o coeficiente convectivo de transferência de massa para o milho, enquanto Balaban (1989) determinou este mesmo coeficiente para filé de peixe, utilizando uma expressão para placa plana, com fluxo turbulento paralelo à superfície.

As clássicas analogias entre os fenômenos de transferência de calor e massa também são utilizadas para a determinação destes valores.

Misra e Young (1980) basearam-se numa analogia entre transferência de calor e massa para leitos de esferas e calcularam o referido coeficiente para soja.

Sereno e Medeiros (1990), seguindo a mesma linha, calcularam o coeficiente convectivo de transferência de massa na secagem de fatias de maçã e cubos de cenoura, baseado em uma

correlação para o coeficiente de transferência de calor.

Vagenas e Marinos-Kouris (1991c) também utilizaram uma correlação clássica para calcular os referidos coeficientes em estudos de secagem de cenoura, batata, uva e damasco, como função da velocidade do ar.

Como uma alternativa diferente, os mesmos Vagenas e Marinos-Kouris (1991b) obtiveram os valores do coeficiente convectivo de transferência de massa, assim como o coeficiente de difusão, para damasco, ajustando os resultados obtidos da solução de seu modelo aos dados experimentais, pela minimização da soma dos quadrados dos resíduos entre os pontos.

2.2.2 Encolhimento

A secagem de produtos agrícolas com alto teor de umidade inicial, como é o caso das frutas e vegetais, é acompanhada de um encolhimento bastante significativo, pelo qual o material sofre alterações em suas dimensões e sua forma original. Este fenômeno, pelas características marcantes, deve estar previsto na modelagem, com vistas a se obter melhor representação física do processo de secagem e maior confiabilidade nos coeficientes determinados, como o coeficiente de difusão.

Diversos autores têm incluído o fenômeno do encolhimento em seus modelos, porém, com distintas formas de tratamento.

Para alguns autores, o encolhimento dos materiais submetidos à secagem pode ser considerado proporcional ao volume de água removida durante o processo (Aregba, Jomaa e Puigalli, 1990; Kechaou e Roques, 1989; Vagenas e Marinos-Kouris, 1991b; Balaban, 1989; Mulet, Berna e Rossello, 1989).

Aregba, Jomaa e Puigalli (1990) abordaram o fenômeno, incluindo-o no equacionamento original. Desenvolveram um modelo difusivo de secagem, onde aparece um termo convectivo (função da velocidade de deslocamento da fase sólida), o qual explica a transferência de umidade ligada ao encolhimento. Este termo teve origem nas equações de fluxo da fase líquida relativamente à fase sólida (sistema bifásico) e na consideração de fluxo difusivo. Apresentaram uma expressão para a velocidade de deslocamento da fase sólida em função do encolhimento volumétrico. O mesmo equacionamento com termo convectivo é utilizado por Ketelaars et alli (1992) no desenvolvimento do modelo de secagem para malha Euleriana.

Kechaou e Roques (1989) desenvolveram um modelo de secagem para materiais que

sofrem grandes deformações, baseados também em movimentos relativos de duas fases. Testaram o modelo, secando gel em fatias. A partir de uma curva experimental que correlacionava a densidade mássica do material com seu teor de umidade, concluíram que o volume deste poderia ser representado por uma função linear do teor de umidade médio durante o encolhimento e, considerando a anisotropia do sólido, optaram por uma equação que relacionava a espessura da fatia em função do teor de umidade médio. Através de uma mudança de coordenadas para um sistema ancorado no sólido, conseguiram inserir o coeficiente de encolhimento linear no equacionamento básico, resolvendo-o por diferenças finitas.

Vagenas e Marinos-Kouris (1991b), ao estudarem a secagem de damasco, propuseram encolhimento linear proporcional à variação do teor de umidade. Consideraram variação nas três dimensões, porém, supondo material isotrópico, ou seja, o coeficiente de encolhimento linear era o mesmo nas três direções.

Balaban (1989) testou a influência do encolhimento nos problemas de difusão de calor e massa, desenvolvendo modelos com e sem a consideração de encolhimento. Por simplicidade, assumiu um decréscimo linear da dimensão com o teor de umidade, alertando, porém, que quando esta correlação fosse não-linear, poderia ser facilmente incorporada ao modelo. Definiu funções que expressavam o grau de encolhimento e repetiu os cálculos com diferentes níveis de encolhimento máximo: 70%, 50% e 30% do original. Para a solução numérica, utilizou o método de diferenças finitas centrais com grade variável, resultante das equações de diferenças finitas centrais levemente modificadas para contemplar distâncias entre os nós variáveis e desiguais. Após cada passo de tempo, a distância entre os nós era ajustada de acordo com o teor de umidade médio daquela fatia. Comparando os resultados obtidos dos modelos com e sem consideração de encolhimento, concluiu que estes podem apresentar diferenças significativas nos valores estimados médios e locais do teor de umidade e da temperatura.

Mulet, Berna e Rossello (1989) estudaram o processo de secagem de cenoura através de modelos com diferentes complexidades, considerando fronteira móvel ou fixa e difusividade constante ou dependente do teor de umidade e temperatura locais. O encolhimento foi representado por uma correlação linear entre o volume da amostra e seu teor de umidade médio. O problema de fronteira móvel foi resolvido explicitamente por um método de diferenças finitas, sendo a discretização das equações desenvolvida com base no conteúdo de

matéria seca de cada subvolume.

Outros autores acreditam que além da redução de volume devida à perda de umidade durante a secagem, existe outra componente do encolhimento atribuída a forças mecânicas intercelulares (Misra e Young, 1980; Ketelaars et alii, 1992). Nesse sentido, Ketelaars et alii (1992) afirmaram que, se o interesse for apenas a cinética de secagem, pode-se desprezar o encolhimento mecânico.

Misra e Young (1980) consideraram que o encolhimento durante a secagem é função de uma retração livre relacionada à perda de umidade e outra elástica provocada pelas células adjacentes. A primeira foi representada por um encolhimento unidimensional linear em função do teor de umidade. A última foi simulada, considerando a soja um sólido perfeitamente elástico (Lei de Hooke). Consideraram, ainda, que a densidade da matéria seca, no caso da soja, aumenta devido ao encolhimento e tem um efeito inverso sobre a difusão de umidade. Resolveram o problema, utilizando o método de elementos finitos, adotando um procedimento iterativo. Calcularam as concentrações e com estes valores obtiveram os respectivos deslocamentos durante um dado passo de tempo. Depois, os deslocamentos foram usados para calcular o novo diâmetro da esfera (soja). Então, as concentrações foram calculadas, usando o novo diâmetro e os deslocamentos foram novamente determinados, a partir das concentrações. Este procedimento era repetido até que se atingisse o teor de umidade de equilíbrio.

Com abordagens levemente diferentes das demais, outros autores desenvolveram seus modelos, contemplando o encolhimento do material.

Sereno e Medeiros (1990) apresentaram um modelo que se simplificava bastante após a análise do comportamento da densidade aparente do sólido em função do teor de umidade. Verificaram que a densidade aparente aumenta, conforme diminui o teor de umidade do sólido. Agregaram a esta conclusão, o comportamento da difusividade efetiva que, segundo outros autores citados, decresce consideravelmente com o decréscimo do teor de umidade do sólido. A partir daí, propuseram que o produto da densidade aparente do sólido pela difusividade efetiva fosse considerado constante, ao invés de considerarem apenas a difusividade efetiva constante. O modelo foi testado para dados de secagem de fatias de maçã e cubos de cenoura, apresentando uma diferença entre os resultados teóricos e experimentais de 1,1% para o teor de umidade e 12% para a taxa de secagem.

Suarez e Viollaz (1991), estudando a secagem de fatias de batata, incorporaram o

fenômeno ao modelo, desenvolvendo a equação da difusão para corpos que sofrem encolhimento durante a secagem. A equação da difusão transformada apresentava um fator multiplicativo da derivada parcial do teor de umidade no espaço, que era função da densidade mássica do sólido totalmente seco, da densidade mássica da água e do teor de umidade. Este termo teve origem na consideração de aditividade de volume do sólido seco e da água, supondo encolhimento unidirecional. Além disso, consideraram que existe uma relação linear entre o teor de umidade e a metade da espessura da fatia, devido ao encolhimento.

Fusco et alli (1991) estudaram o encolhimento nos modelos difusionais, considerando diferentes geometrias. Apresentaram uma boa revisão de literatura sobre estudos do encolhimento representado pelas relações de volume com o teor de umidade e, diferentemente dos demais, optaram por uma expressão que correlacionava estas duas propriedades através de uma função de terceiro grau. Obtiveram solução numérica pelo método de diferenças finitas, adotando uma malha fixa com a interface móvel, localizada no contorno do material. Em todas as geometrias estudadas, os modelos com encolhimento apresentaram melhores resultados.

Berthet et alli (1992) desenvolveram um modelo difusional com evaporação na superfície do material, considerando encolhimento, ao analisarem a secagem de polímeros. Foi derivada uma expressão para o volume de uma membrana esférica em função da concentração local que levava em conta a aditividade do volume do esqueleto sólido e da umidade presente neste. A partir desta relação, calcularam o teor de umidade ao longo do raio como o produto da nova concentração pelo novo volume da membrana. Desta forma, conseguiram analisar a cinética da variação da dimensão ao longo do raio e do tempo e concluíram que o encolhimento ocorre primeiro em pontos próximos à superfície externa do material e leva algum tempo para acontecer no interior da esfera; este tempo será maior para posições mais próximas do centro da esfera.

Capítulo 3

Determinação Experimental da Cinética de Secagem

3.1 Sistema Experimental

O estudo experimental da cinética de secagem apresenta uma série de desafios e dificuldades, relacionados, principalmente, ao controle preciso das condições do ar e registro dos parâmetros durante o processo.

A maioria das ocorrências de erros pode ser atribuída à forma de controle de peso das amostras ao longo do tempo de secagem. Para acompanhar melhor o fenômeno físico, estas medidas devem ser realizadas inicialmente em pequenos intervalos de tempo, com a possibilidade de aumentá-los à medida que o teste se aproxima do final. A retirada das amostras da câmara de secagem para a operação de pesagem altera completamente as condições de regime permanente, tanto do ar quanto do produto, as quais serão restabelecidas após considerável período de tempo. Este procedimento pode resultar na obtenção de dados de baixa qualidade, acompanhados de erros de diferentes magnitudes.

Nesse sentido, foi desenvolvido um sistema experimental especificamente para este trabalho, com a finalidade principal de obter controles precisos de temperatura e umidade relativa do ar no interior da câmara de secagem e possibilitar o registro dos parâmetros com interferências externas mínimas. A montagem final ficou composta, basicamente, dos seguintes elementos: equipamento para suprimento do ar de secagem; sistema de distribuição do ar; câmara de secagem; sensores e medidores e equipamentos para aquisição automática dos dados.

O sistema construído permitia o registro automático num "datalogger" dos dados de temperatura de bulbo seco e úmido, lidos à entrada e saída da câmara de secagem e de valores de temperatura no centro da fruta. Possibilitava, ainda, leituras sucessivas do peso das

amostras de banana ao longo do processo e registro automático das mesmas no disco rígido de um microcomputador ligado diretamente à balança. Cabe ressaltar que montagens similares são utilizadas em países desenvolvidos e que não foram encontradas referências de propostas semelhantes no Brasil, para automatização experimental em estudos de secagem.

Nos itens seguintes, apresenta-se a descrição detalhada dos elementos que compõem o sistema.

A Figura 1 ilustra o esquema da montagem experimental, indicando os principais componentes.

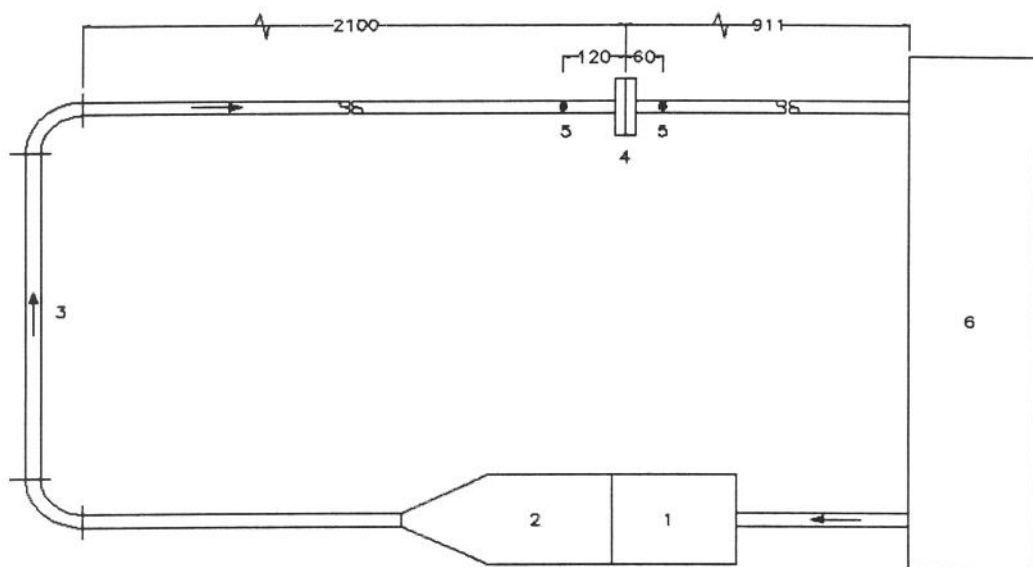


Figura 1 - Esquema global do sistema experimental. (1) plenum, (2) câmara de secagem, (3) tubulação de ar, (4) placa-orifício, (5) tomadas de pressão com anel piezométrico, (6) Aminco-Aire. (Dimensões em mm)

3.1.1 Equipamento para suprimento do ar de secagem

O controle de temperatura e umidade relativa do ar de secagem foi obtido a partir do equipamento americano AMINCO-AIRE, que funciona basicamente como um condicionador de ar. O equipamento trabalha num sistema fechado de recirculação de ar e possui um tanque de água, cuja temperatura constitui-se num dos parâmetros a ser controlado para se conseguir os níveis de umidade relativa desejados. O monitoramento desta medida, bem como da

temperatura de bulbo seco do ar, é realizado automaticamente por meio de termostatos. As faixas de operação com os respectivos controles são fornecidas no manual que acompanha o equipamento. Porém, neste trabalho, a referida máquina necessitou de um reparo minucioso, o que alterou suas condições de funcionamento, principalmente com relação à vazão de ar. Foi desenvolvido um sistema especial para controle preciso da temperatura do ar de secagem. Desta forma, os parâmetros mais importantes para as finalidades da pesquisa, temperatura e umidade relativa do ar de secagem, puderam ser controlados numa faixa adequada. Para ilustrar, apresenta-se, a seguir, um gráfico representativo da variação dos dados de temperatura de bulbo seco, bulbo úmido e umidade relativa durante o tempo total de secagem para a condição aproximada de secagem selecionada em $T=70^{\circ}\text{C}$ e $UR=10\%$.

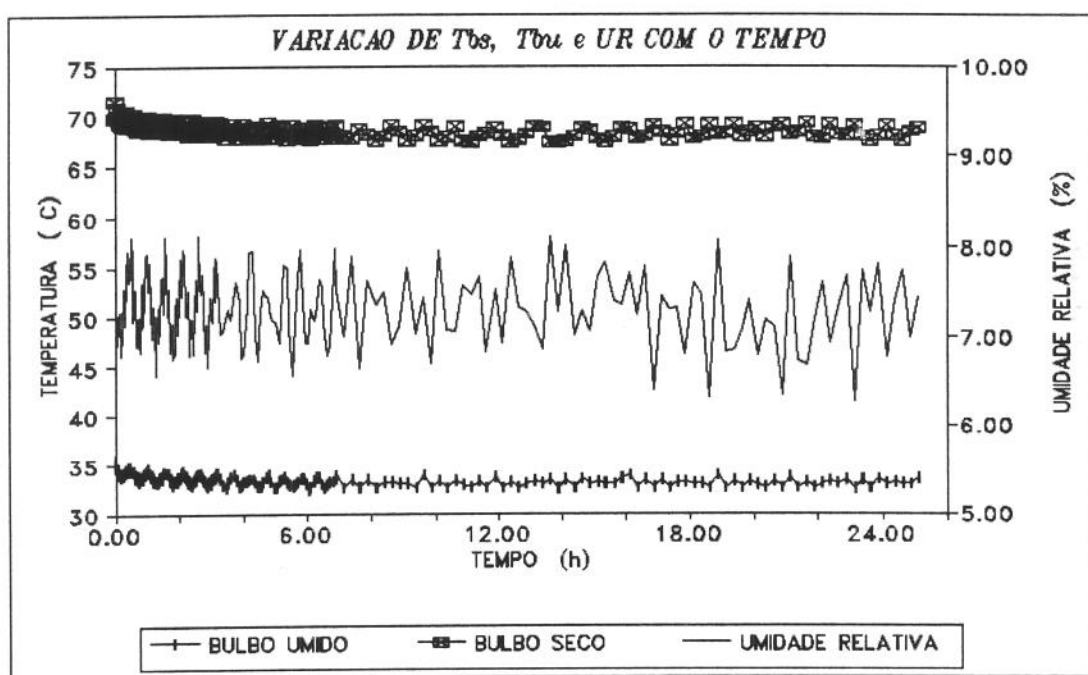


Figura 2 - Variação das condições do ar de secagem para o Teste 6 ($T=68,4^{\circ}\text{C}$ e $UR=7,30\%$).

A Tabela 2 complementa, para todos os experimentos realizados, as informações dos valores mínimos, máximos e médios dos parâmetros de temperatura e umidade relativa do ar de secagem, bem como os valores utilizados para a velocidade do fluxo de ar nos respectivos testes. Note-se a proximidade entre as condições selecionadas e aquelas conseguidas no sistema.

Uma análise de progressão de erro no cálculo da umidade relativa realizada para os

testes 1, 3 e 6 apresentou resultados de 5,0%, 2,3% e 1,3%, respectivamente. Pode-se observar, portanto, que a faixa de variação da umidade relativa encontra-se dentro do intervalo de confiança dos respectivos valores médios.

Tabela 2 - Faixas de operação do sistema experimental utilizadas nos diferentes testes.

TESTE	v (m/s)	T _{bs} (°C)			T _{bu} (°C)			UR (%)		
		MIN	MAX	MED	MIN	MAX	MED	MIN	MAX	MED
1	0,38	29,6	30,4	29,9	18,4	20,0	19,2	31,9	39,8	35,7
2	0,33	39,6	40,2	39,9	21,0	22,9	21,9	16,9	22,1	19,3
3	0,37	49,2	50,8	49,9	27,9	29,5	28,7	17,2	21,1	19,2
4	0,36	59,7	60,8	60,2	35,6	38,4	36,8	17,4	22,9	19,9
5	0,35	60,2	61,0	60,5	28,7	34,1	31,0	7,9	14,9	10,7
6	0,39	67,3	71,6	68,4	32,4	35,4	33,2	6,3	8,1	7,3

3.1.2 Sistema de distribuição do ar

O ar de secagem circulava no sistema por meio de tubulações de polipropileno para suportar altas temperaturas (100°C), com diâmetro interno de 0,122 m, e comprimento de 5 m, calculado a partir das recomendações da ASME (1971), referentes à instalação de medidores de vazão do tipo placa-orifício.

Para a medida da vazão do ar de secagem foi instalada uma placa-orifício em aço inoxidável, com relação de diâmetros de 0,75, fixada à tubulação por meio de flanges a uma distância, em tubo reto, de 16 diâmetros do último cotovelo antes da mesma, e 8 diâmetros depois, respeitando, com folga, as recomendações da ASME (1971). Foram também instalados dois anéis piezométricos de pressão, unindo quatro tomadas a 90° entre si, à distância equivalente de 1 diâmetro antes da placa e 1/2 diâmetro depois.

O esquema de instalação da placa-orifício no sistema está ilustrado na Figura 1.

Imediatamente antes da câmara de secagem foi construído um plenum com chapas

de alumínio de 2mm de espessura para uniformização do fluxo de ar, com as seguintes dimensões: 0,445 m de comprimento, 0,420 m de altura e 0,418 m de largura. Na conexão da tubulação com o plenum, foi instalado um difusor circular de dois cones, utilizado em instalações de ar condicionado e adaptado ao projeto, com a finalidade de espalhar suavemente o fluxo de ar por toda a área transversal do plenum; uma tela de malha fina em aço inoxidável, localizada à saída do plenum, homogeneizava a distribuição das linhas de corrente do fluxo de ar na entrada da câmara de secagem.

3.1.3 Câmara de secagem

A Figura 3 ilustra os componentes e dimensões da câmara de secagem e plenum.

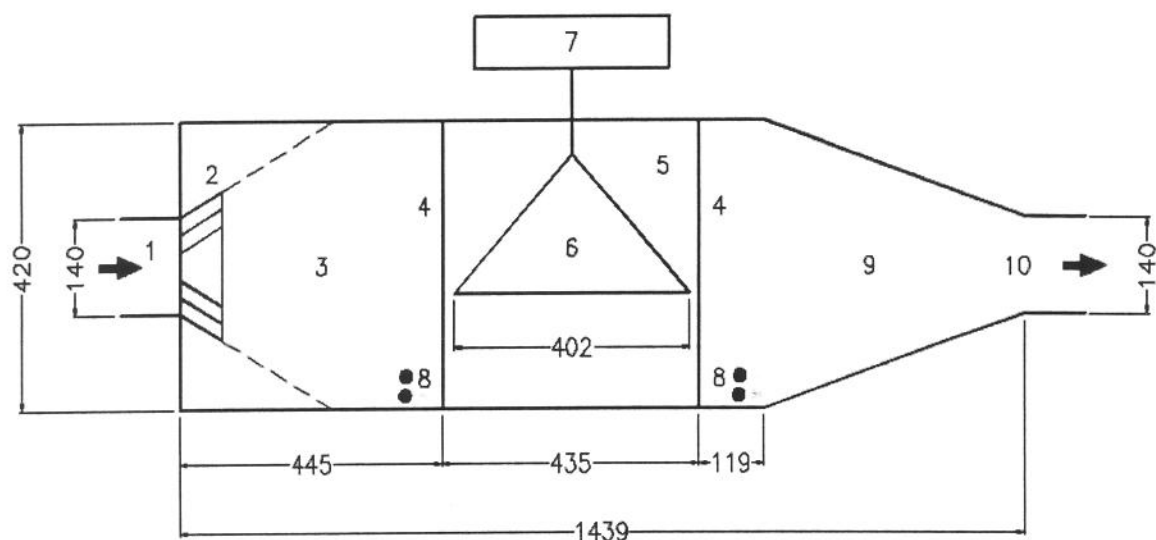


Figura 3 - Câmara de secagem e plenum: (1) entrada de ar, (2) difusor, (3) plenum, (4) tela, (5) câmara de secagem, (6) bandeja suspensa, (7) balança, (8) tomadas de temperatura do ar, (9) redução cônica, (10) saída de ar.

A estrutura da câmara de secagem foi feita com perfis de alumínio do tipo cantoneira e as paredes laterais com chapas de alumínio de 2 mm de espessura. A câmara era dotada de porta frontal para permitir o manuseio das frutas, principalmente no início e final da operação. A bandeja, onde foram dispostas as frutas, foi construída com os mesmos perfis e tela de aço

inoxidável, malha 26, tomando-se o cuidado de orientar as cantoneiras em "L" invertido (para baixo) com a finalidade de se evitar a formação de barreira ao fluxo de ar sobre as frutas. Um suporte, cujo centro coincidia com o centro da bandeja, foi construído acima da câmara para a colocação da balança semi-analítica dotada de dispositivo de pesagem inferior. A saída da câmara foi projetada na forma de uma contração piramidal suave, para se evitar efeitos de turbulência do fluxo de ar neste ponto.

O plenum e a câmara de secagem foram isolados com placas de polietileno expandido de 20 mm de espessura, para se evitar a perda de calor nas paredes dos mesmos.

Todos os componentes anteriores, câmara de secagem, plenum e tubulação, estavam suportados por uma estrutura feita de perfis de ferro do tipo cantoneira.

3.1.4 Sensores e medidores

Para compatibilizar com o sistema de aquisição automática dos dados, necessitou-se trabalhar com sensores que emitissem sinais adequados, correspondentes às medidas desejadas.

O sensor de peso foi uma balança eletrônica digital com carga máxima de 6 Kg e precisão de 0,1 g, onde foi acoplada uma placa do mesmo fabricante, que permitia a ligação com a porta serial RS232, padrão de comunicação de microcomputadores. A balança ficava sobre um suporte, acima da câmara de secagem, de maneira a permitir pesagem inferior.

As medidas de temperatura de bulbo seco e bulbo úmido do ar foram realizadas com termopares do tipo T, com superfície estendida, instalados na entrada e na saída da câmara de secagem; a temperatura do produto foi registrada com termopares de bitola fina, 0,81 mm (0,032 pol), também de cobre-constantan, inseridos no centro da banana.

Os termopares foram calibrados para uma faixa de temperatura de 20 a 80°C, utilizando-se como padrão um termômetro de mercúrio, com escala de 10 a 100°C e precisão de 0,1°C. As leituras dos termopares foram feitas no próprio "datalogger" utilizado para adquirir dados de temperatura, cuja descrição será apresentada no próximo item. As variações de temperatura foram conseguidas com um banho de água sob aquecimento e posterior resfriamento, onde foram imersos os termopares e o termômetro padrão, realizando-se leituras a cada 5°C. Com os dados resultantes, foram calculadas as curvas de calibração, por regressão linear, sendo que o menor coeficiente de correlação obtido foi de 0,99994.

Apenas a leitura da pressão diferencial na placa-orifício foi realizada mecanicamente, utilizando-se um manômetro inclinado com escala de 0 a 50 mmH₂O (0 a 2 polH₂O). Cabe

esclarecer que, inicialmente, esta leitura era feita através de um transdutor diferencial de pressão, que permitia também o registro automático dos dados. No entanto, este sensor, que fora importado especificamente para este fim, passou a apresentar problemas, que culminaram com a escolha de outra forma de obtenção desta medida. Acrescenta-se a isto, o fato de que estes dados permaneciam praticamente constantes durante todo o período de secagem, o que poderia justificar a realização de leituras com menor frequência.

Os locais de instalação dos sensores e medidores no sistema experimental podem ser vistos nas Figuras 1 e 3.

3.1.5 Sistema de aquisição de dados

A operação de aquisição automática dos dados experimentais foi realizada mediante a utilização de dois equipamentos: um "datalogger" para registrar a temperatura do ar e da banana e um microcomputador que armazenava os dados de peso, durante todo o tempo de secagem.

Para a aquisição automática do peso, a balança foi ligada diretamente à porta serial RS232 do microcomputador, possibilitando a transferência contínua dos sinais digitais, lidos por um programa elaborado na linguagem BASIC (Apêndice A). Os dados eram registrados diretamente num arquivo no disco rígido do microcomputador.

O "datalogger" apresenta uma junta fria, eletronicamente simulada, que possibilita a conversão direta dos sinais analógicos em unidades de temperatura, de acordo com o tipo de termopar utilizado. Além disso, permite fazer as leituras atualizadas pelas curvas de calibração dos respectivos sensores. Os intervalos de leitura podem ser selecionados e alterados durante o processo de secagem, enquanto os valores lidos vão sendo armazenados continuamente numa memória RAM. Apresenta, ainda, a opção de interfaceamento com a porta serial RS232 do microcomputador.

É importante ressaltar que o interfaceamento destes equipamentos com o microcomputador depende de projeto adequado dos cabos de ligação e da elaboração de programas que decodifiquem os sinais emitidos, de acordo com as especificações técnicas dos aparelhos, constantes dos manuais que devem acompanhá-los.

A transferência dos dados do "datalogger" para o microcomputador foi realizada através do programa de comunicação KERMIT, com os comandos LOG SESSION e CONNECT.

3.2 Testes experimentais

As condições de temperatura e umidade relativa do ar de secagem selecionadas para esta pesquisa tiveram por base um estudo preliminar, cuja finalidade era evitar situações que não ocorrem na prática, levando-se também em conta as limitações apresentadas pelo equipamento AMINCO-AIRE. Em uma carta psicrométrica, foram representados os processos de aquecimento do ar ambiente até os pontos desejados de temperatura e umidade relativa, surgindo daí a faixa de valores de interesse para a pesquisa. Os resultados foram analisados juntamente com dados de temperatura e umidade relativa (médias diárias, máximas e mínimas) de um período de cinco anos (1984 a 1988) para a região do Vale do Ribeira, obtidos na Secção de Climatologia do Instituto Agronômico de Campinas.

Este estudo permitiu a seleção das seguintes condições do ar a serem investigadas na presente pesquisa:

$T = 70^{\circ}\text{C}$ e $\text{UR} = 10\%$

$T = 60^{\circ}\text{C}$ e $\text{UR} = 10\%$

$T = 60^{\circ}\text{C}$ e $\text{UR} = 20\%$

$T = 50^{\circ}\text{C}$ e $\text{UR} = 20\%$

$T = 40^{\circ}\text{C}$ e $\text{UR} = 20\%$

$T = 30^{\circ}\text{C}$ e $\text{UR} = 30\%$

A seguir, apresenta-se a descrição da metodologia empregada para a realização dos testes experimentais e cálculos dos parâmetros necessários ao estudo.

3.2.1 Amadurecimento das Amostras

O ponto de amadurecimento adequado e a uniformidade das amostras de banana no início da secagem certamente constituem fatores de influência sobre a qualidade do produto seco e sobre a precisão dos dados experimentais, ao final do processo.

Além dos aspectos qualitativos foi considerada a importância de se utilizar um procedimento prático que permitisse selecionar as bananas "in natura", com base em suas características externas. Haendler (1966) recomenda que para a secagem sejam selecionadas frutas no estágio 7 do amadurecimento, comumente conhecido como "tigrado", caracterizado pelo máximo teor de sacarose e coloração da casca inteiramente amarela com pequenas pintas marrons.

Nesse sentido, foram desenvolvidos estudos preliminares para a investigação dos parâmetros a serem controlados durante o amadurecimento das amostras, que permitissem a identificação do ponto de maturação das frutas adequado para a secagem.

Foram utilizadas bananas verdes Musa acuminata, subgrupo Cavendish, cultivar Nanicão, fornecidas pelo CEASA/Campinas, provenientes da região de Registro-SP.

Em sucessivos estágios de maturação das frutas, eram realizadas análises de açúcares redutores, totais e teor de sacarose. Estes parâmetros foram correlacionados com a análise subjetiva da coloração externa da casca, similar à proposta apresentada por Haendler (1966) para as diferentes fases de amadurecimento.

Os resultados permitiram correlacionar o teor de açúcar com a coloração da casca das frutas, durante o processo de amadurecimento, conforme os dados da Tabela 3, para bananas brasileiras da variedade Nanicão climatizadas no próprio CEASA e amadurecidas no Laboratório de Produtos Perecíveis da FEAGRI/UNICAMP, em condições ambientais.

Tabela 3 - Relação entre a coloração da casca e o conteúdo de açúcares de bananas cultivar Nanicão durante o amadurecimento.

Coloração da casca	Açúcares		
	Redutores	Totais	Sacarose
Verde com traços amarelos	0,8	2,9	2,0
Mais verde que amarela	2,1	8,0	5,7
Mais amarela que verde	3,3	9,8	6,4
Amarela com extremidade verde	4,5	14,3	9,4
Amarela com pequenas manchas marrons	6,6	17,2	10,1
Amarela com placas marrons	7,1	17,6	10,0

Com a finalidade de se obter melhor controle no tratamento das frutas verdes, estas análises foram repetidas para bananas não-climatizadas e tratadas no laboratório com solução de Ethephon, mediante processo de imersão. Foram investigados os parâmetros relativos à

concentração da solução, tempo de exposição, número de tratamentos e temperatura de amadurecimento.

Os resultados indicaram o seguinte tratamento: imersão por três minutos em solução de Ethephon a 1000 ppm, repetindo-se após 24 e 48 horas. Depois de cada operação, as frutas eram drenadas e acondicionadas em estufas com temperatura controlada de 18°C e umidade relativa média de 86%, permanecendo nestas condições até atingirem o estado "tigrado".

Os resultados deste tratamento são apresentados na Tabela 4, apenas para os três estágios finais do processo de amadurecimento, em virtude de se encontrar nesta faixa, a banana apropriada para a secagem.

Estes dados foram utilizados como um guia de seleção visual das bananas no ponto de maturação adequado para a secagem, previamente à realização de todos os testes experimentais que constam na Tabela 2.

Tabela 4 - Conteúdo de açúcares e coloração da casca de bananas cultivar Nanicão nos últimos estágios do amadurecimento.

Coloração da casca	Açúcares		
	Redutores	Totais	Sacarose
Totalmente amarela	6,6	17,5	10,4
Amarela com pintas marrons	7,9	19,0	10,5
Bem tigrada com muitas placas marrons	9,3	19,2	9,5

3.2.2 Teor de Umidade

O teor de umidade das bananas foi determinado em estufa com circulação forçada a 70 °C por 72 horas, com 5 repetições. As amostras pesavam em torno de 3 a 5 g, constituídas de fatias bem finas da fruta. Este procedimento foi comparado com outro, utilizado na Faculdade de Engenharia de Alimentos/Unicamp, para determinação do teor de umidade de frutas e vegetais, que consiste em submeter as amostras por 24 horas a 50 °C em estufa com circulação forçada, seguida de outras 24 horas a 70 °C em estufa a vácuo. O erro relativo entre o primeiro e o segundo procedimento foi de 0,93% para a umidade base úmida.

Com base neste estudo e na inexistência de um método padronizado para determinação do teor de umidade de bananas, optou-se pelo primeiro procedimento. Além disso, considerou-se a impossibilidade de se dispor de uma estufa a vácuo no período de realização da pesquisa.

O teor de umidade era determinado com as amostras "in natura", no início do teste experimental e os valores obtidos encontram-se na Tabela 6, item 3.3.4.

3.2.3 Secagem

Após o amadurecimento, as frutas no estado "tigrado" foram descascadas e, de cada uma delas, tomou-se a leitura de dois diâmetros perpendiculares no ponto central de seu eixo longitudinal, com o auxílio de um paquímetro vertical e outro horizontal. Estas medidas foram repetidas ao final do processo, o que permitiu a avaliação, na média, da porcentagem de encolhimento da amostra durante a secagem. Os resultados encontram-se no Apêndice E.

Posteriormente, as frutas foram distribuídas sobre a bandeja perfurada, com o comprimento paralelo à direção do fluxo de ar e levadas à câmara de secagem.

As condições do ar de secagem para os testes experimentais realizados foram aquelas apresentadas na Tabela 2, item 3.1.1.

Durante todo o processo de secagem, foram registradas leituras de peso da amostra, temperatura de bulbo seco e bulbo úmido na entrada e saída da câmara, temperatura no centro da banana (3 repetições) e perda de pressão na placa-orifício.

Os intervalos de leitura foram de 2 minutos durante as primeiras 3 horas de secagem, 5 minutos nas 3,5 horas seguintes e 15 minutos até o final do processo. Estes valores foram escolhidos para se contemplar a característica da curva de secagem, cuja velocidade de perda de peso é maior no início da operação, com exceção das leituras de perda de pressão na placa-orifício, as quais foram tomadas em intervalos de três horas.

A secagem prosseguiu até que as bananas atingissem teor de umidade em torno de 25%, base úmida, conforme recomendado pela Resolução 12/78 (1985), que se refere às normas para comercialização de frutas.

Com o peso da matéria seca determinado a partir do teor de umidade inicial das bananas e os dados de peso obtidos, calculou-se o teor de umidade médio para cada intervalo de tempo, em todos os testes de secagem.

Definiu-se, então, a razão de umidade média, como sendo:

$$RU(t) = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} \quad (3.1)$$

Para distinguir desta, os valores pontuais da razão de umidade ao longo do raio foram denominados $M^*(r,t)$, definidos como:

$$M^*(r,t) = \frac{M(r,t) - M_e}{M_0 - M_e} \quad (3.2)$$

Os arquivos de dados utilizados para a modelagem teórica foram formados pelos valores experimentais de razão de umidade correspondentes a intervalos regulares de 0,25 horas (15 minutos). Esta sistemática foi adotada após se observar, em análises preliminares, que a distribuição dos pontos no conjunto de dados experimentais foi um dos aspectos que mostrou influenciar os resultados do ajuste. Assim, a utilização de conjunto de dados com diferentes intervalos de tempo de leitura conduziu a ajustes melhores nas faixas que apresentavam maior densidade de pontos, mascarando a distribuição de erros em toda a curva. Por este motivo, optou-se por uniformizar os mesmos, dentro dos referidos intervalos de tempo, descartando-se os demais. Estas análises foram realizadas com a solução analítica do Modelo 1. Maiores detalhes serão fornecidos no Capítulo seguinte, quando da descrição do referido modelo.

Os valores de razão de umidade em função do raio e do tempo foram tratados segundo modelo difusivo, apresentado com detalhe no capítulo seguinte.

Os dados experimentais resultantes serão apresentados, na forma de tabelas, no Apêndice F, juntamente com os resultados dos modelos; os gráficos correspondentes serão mostrados no Capítulo 5.

3.2.4 Encolhimento

Foi conduzido um estudo na tentativa de se correlacionar a variação do diâmetro da banana com o seu teor de umidade ao longo do processo de secagem. Este estudo teve por objetivo a consideração do fenômeno do encolhimento no modelo final.

Bananas inteiras descascadas foram colocadas em estufa com circulação forçada a 70°C e, em intervalos de tempo pré-estabelecidos, foram feitas leituras de peso e de dois diâmetros perpendiculares de cada amostra, num total de seis repetições. Utilizou-se uma balança analítica para a leitura do peso e paquímetros vertical e horizontal para as medidas dos diâmetros. Calculou-se o diâmetro médio, como a média aritmética dos dois diâmetros perpendiculares, e o teor de umidade de cada amostra. Estes resultados foram plotados e correlacionados através de regressão linear. Os dados experimentais e as retas de regressão resultantes encontram-se nos Apêndices D1 e D2, respectivamente.

A expressão obtida que descreve a correlação entre o raio adimensional e o teor de umidade foi a seguinte:

$$\frac{d}{d_0} = \frac{R}{R_0} = 0,4721 + 0,1819M \quad (3.3)$$

Introduzindo-se a variável adimensional, razão de umidade, definida pela expressão (3.1), tem-se:

$$\frac{R}{R_0} = A + B \cdot RU(t) \quad (3.4)$$

Os coeficientes A e B são funções do teor de umidade de equilíbrio e do teor de umidade inicial da fruta e, portanto, variam com as condições de cada teste experimental. Suas expressões são:

$$A = 0,4721 + 0,1819M_e \quad (3.5)$$

$$B = 0,1819(M_0 - M_e) \quad (3.6)$$

Os valores de A e B relativos a cada teste experimental podem ser encontrados na Tabela 5, que apresenta, ainda, os valores do raio inicial para cada teste experimental.

Tabela 5 - Valores do raio inicial e dos coeficientes A e B da expressão do raio variável.

Teste	R ₀ (m)	A	B
1	0,01613	0,4981	0,5979
2	0,01569	0,4842	0,5645
3	0,01522	0,4826	0,5734
4	0,01530	0,4798	0,5307
5	0,01506	0,4759	0,5491
6	0,01545	0,4743	0,5344

3.3 Cálculo dos parâmetros

3.3.1 Umidade Relativa

O cálculo da umidade relativa foi realizado a partir dos dados de temperatura de bulbo seco, bulbo úmido e pressão atmosférica, utilizando-se as seguintes equações:

$$P_{vs}(T)[mmHg] = \exp(18,3036 - \frac{3816,44}{T[K] - 46,13}) \quad (3.7)$$

$$\omega_{sa}(T) = 0,622 \frac{P_{vs}(T)}{P_T - P_{vs}(T)} \quad (3.8)$$

$$\omega_{\text{R}} = \frac{\omega_{sa}(T_{bu}) * h_{lv} + c_{par}(T_{bu} - T_{bs})}{(h_v - h_l)} \quad (3.9)$$

onde:

$$h_{lv}[kJ/kg] = 2501 - 2,381 * T_{bu}[^{\circ}C] \quad (3.10)$$

$$h_v[kJ/kg]=2501+1,805 * T_{bs}[^{\circ}C] \quad (3.11)$$

$$h_l[kJ/kg]=4,186 * T_{bu}[^{\circ}C] \quad (3.12)$$

$$UR = \frac{\omega_R}{\omega_{sa}(T_{bs})} 100 \quad (3.13)$$

Para a determinação das médias de umidade relativa e temperatura durante todo o processo de secagem, devido aos diferentes intervalos de leitura, foi feita uma integração numérica destes valores ao longo do tempo pelo método dos trapézios, representada pela expressão:

$$I = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{(y_i + y_{i-1})}{2} * (t_i - t_{i-1})}{\sum_{i=1}^N (t_i - t_{i-1})} \quad (3.14)$$

onde y indica umidade relativa ou temperatura do ar , segundo o caso.

3.3.2 Umidade de equilíbrio

Com os valores de umidade relativa média e temperatura média do ar de secagem, calculou-se o teor de umidade de equilíbrio, utilizando-se a equação de BET (BRUNAUER, EMMET e TELLER, 1938), citados por Nogueira (1991), para policamadas moleculares:

$$\frac{M_e}{M_M} = \frac{C * A_w}{(1 - A_w)} * \frac{1 - (n+1)(A_w)^n + n(A_w)^{(n+1)}}{1 - (1 - C)A_w - C(A_w)^{(n+1)}} \quad (3.15)$$

Nesta equação, n representa o número de camadas moleculares.

Nogueira (1991) também reportou os valores de C e M_M para banana, considerando cinco camadas moleculares, para as temperaturas de 50, 60 e 70°C e atividade de água na faixa de 0,11 a 0,70. Estes resultados foram utilizados para o cálculo da umidade de equilíbrio no presente trabalho.

Para as temperaturas de 30 e 40°C, em virtude da inexistência de dados, foi feita uma interpolação baseada na equação de Clausius-Clapeyron a partir dos valores experimentais de

Nogueira (1991) referentes às temperaturas de 50, 60 e 70°C e de dados fornecidos pela Faculdade de Engenharia de Alimentos, Unicamp para a temperatura de 25°C. O método empregado foi reportado por Hubinger (1994). Os resultados constam da Tabela 6.

3.3.3 Cálculo da Vazão de ar

Com as leituras de perda de pressão na placa-orifício foi possível calcular a vazão e a velocidade do ar de secagem.

O cálculo da vazão foi realizado supondo-se, inicialmente, escoamento ideal, sem atrito, sendo depois corrigido com o coeficiente de descarga (C_D).

Desta forma, o fluxo volumétrico (Q) e mássico ($\dot{m}$) foram obtidos com as seguintes expressões:

$$Q = \left[\frac{A_2}{(1-\beta^4)^{1/2}} \right] \left[\frac{2\Delta P}{\rho} \right]^{1/2} \quad (3.16)$$

$$\dot{m} = \rho \cdot Q \quad (3.17)$$

Seguindo a recomendação da ASME (1971), o coeficiente de descarga (C_D), é calculado como:

$$C_D = K(1-\beta^4)^{1/2} \quad (3.18)$$

O fator K para placa-orifício de bordas quadradas com tomadas de pressão a 1ϕ e $1/2\phi$ é calculado através das seguintes expressões:

$$K = K_0 + \frac{1000b}{(Re_\phi)^{1/2}} \quad (3.19)$$

$$b = 0,0002 + \frac{0,0011}{\phi} + \left[0,0032 + \frac{0,0004}{\phi} \right] [\beta^2 + (16,5 + 5\phi)\beta^{16}] \quad (3.20)$$

$$K_0 = 0,6014 - 0,01352\phi^{-0,25} + (0,376 + 0,07257\phi^{-0,25}) \cdot \left[\frac{0,00025}{(\phi^2\beta^2 + 0,0025\phi)} + \beta^4 + 1,5\beta^{16} \right] \quad (3.21)$$

Nas equações (3.20) a (3.21), ϕ representa o diâmetro interno da tubulação e deve ser expresso em polegadas.

Observa-se, na equação (3.19) que o número de Reynolds não é conhecido e portanto os cálculos devem ser feitos iterativamente até o ajuste de Re_ϕ , recalculado, a cada passo, com a expressão:

$$Re_\phi = \frac{4\dot{m}}{\pi\phi\mu} \quad (3.22)$$

Esta sequência de cálculo se encontra no livro de Benedict (1984) para medidores de vazão.

3.3.4 Parâmetros reais dos testes

A partir da metodologia anteriormente descrita, foi construída a Tabela 6 que resume os valores dos parâmetros calculados necessários aos modelos. Apresenta, ainda, o tempo total de secagem de cada experimento e os correspondentes números de dados gerados (X). Os dados referentes à umidade relativa e velocidade do ar foram reportados na Tabela 2, sendo utilizados seus valores médios para os cálculos.

Tabela 6 - Parâmetros das condições do ar de secagem e do produto utilizados nos testes experimentais.

Teste	T_{bs} (°C)	P_i (g)	$M_0(bs)$ (dec.)	$M_f(bs)$ (dec.)	$M_e(bs)$ (dec.)	R_0 (m)	Tempo (h)	X
1	29,9	1651,6	3,43	0,32	0,1428	0,01613	121,85	488
2	39,9	1597,3	3,17	0,33	0,0664	0,01569	72,0	289
3	49,9	1277,6	3,21	0,32	0,0579	0,01522	40,8	164
4	60,2	1547,7	2,96	0,25	0,0426	0,01530	35,3	142
5	60,5	1265,0	3,04	0,31	0,0211	0,01506	27,8	112
6	68,4	1317,3	2,95	0,22	0,0121	0,01545	27,6	111

Capítulo 4

Análise Teórica

4.1 Descrição da modelagem

A secagem de materiais úmidos pode ser entendida, basicamente, como um processo de transferência de calor e massa que ocorre no interior do sólido e na superfície deste em contato com o agente de secagem. Desta forma, as teorias existentes para o tratamento dos problemas de transferência de calor e massa são, na maioria das vezes, com poucas alterações, aplicadas ao estudo da migração de umidade que caracteriza o processo de secagem. A escolha da abordagem teórica deve fundamentar-se, entre outros aspectos, na capacidade de reprodução adequada das cinéticas experimentais de secagem, contemplando a facilidade de incorporação dos fenômenos físicos secundários. Ademais, o sucesso de um modelo matemático para a representação de um determinado problema depende da consistência de descrição das características dos fenômenos físicos pertinentes.

Com base nessas premissas, optou-se por utilizar a teoria de difusão líquida para explicar a cinética de secagem de bananas Musa acuminata subgrupo Cavendish cv Nanicão.

A hipótese de que a umidade migra no estado líquido no interior da fruta pode ser baseada nas faixas de temperatura estudadas e na existência de encolhimento do sólido durante a secagem, o que, pressupõe-se, contribui para a diminuição de tamanho dos microcapilares internos. Pode-se agregar, ainda, o fato de que o teor de umidade que se pretende atingir no produto final não é muito baixo, devendo ficar em torno de 25%, base úmida. Portanto, acredita-se que, se houver migração de umidade no estado vapor, esta deverá ser insignificante, podendo ser considerada desprezível.

Como a secagem foi conduzida com as bananas inteiras, optou-se pela descrição do fenômeno com as equações de difusão em coordenadas cilíndricas, aproximando-se a forma

da fruta para um cilindro infinito, o que equivale a dizer que a migração de umidade ocorre apenas na direção radial.

Além disso, pretende-se incorporar ao modelo matemático alguns fenômenos físicos que ocorrem de forma significativa durante a secagem de bananas, a saber: a evaporação de umidade na superfície do corpo até atingir o teor de umidade de equilíbrio com o ar de secagem e o encolhimento sofrido pela fruta. O primeiro fenômeno será considerado através da condição de contorno que descreve o fluxo de água na superfície da fruta, supondo a igualdade entre o fluxo da massa de água proveniente do interior do produto e aquele transferido por convecção da superfície para o ar em volta. O segundo fenômeno deriva de uma investigação prévia realizada neste mesmo trabalho, a qual possibilitou o desenvolvimento de uma correlação empírica que representa a variação do diâmetro da banana com seu teor de umidade médio.

Estes dois fenômenos serão detalhados com maior clareza no decorrer do trabalho.

Assim sendo, a análise teórica será baseada no desenvolvimento de quatro modelos difusivos com diferentes níveis de complexidade. Esta sequência permitirá a avaliação da influência de cada um dos fenômenos, ou de suas interações, sobre os resultados.

A solução das equações diferenciais dependerá da determinação do coeficiente de difusão e do coeficiente convectivo de transferência de massa, quando houver. Estes dois parâmetros serão obtidos mediante investigação sucessiva, ajustando-se iterativamente os valores calculados da razão de umidade média aos respectivos dados experimentais e avaliando-se a soma dos quadrados dos resíduos, cujo mínimo indicará os valores correspondentes dos coeficientes.

Todos os modelos serão resolvidos numericamente, utilizando-se o método explícito de diferenças finitas, cujo desenvolvimento encontra-se detalhado no Apêndice B.

A seguir, apresenta-se a descrição completa de cada modelo, bem como de suas soluções.

Modelo1

Considerações:

- a banana é representada pela forma geométrica de um cilindro infinito, ou seja, a transferência interna de umidade durante a secagem ocorre apenas na direção radial;

- o teor de umidade inicial é distribuído uniformemente no interior do produto e é representado por M_0 ;
- o teor de umidade na superfície da banana permanece constante durante o processo e seu valor corresponde ao teor de umidade de equilíbrio (M_e) do produto com o ar de secagem;
- o coeficiente de difusão é considerado constante durante a secagem;
- o corpo é homogêneo; e
- o encolhimento do produto durante a secagem é considerado desprezível.

Sob estas hipóteses, o modelo da difusão líquida pode ser expresso matematicamente, através da seguinte equação:

$$\frac{\partial M}{\partial t} = \frac{D}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left[r \frac{\partial M}{\partial r} \right] \quad (4.1)$$

com as condições inicial e de contorno:

$$M = M_0, \quad r > 0 \quad t = 0 \quad (4.2)$$

$$\frac{\partial M}{\partial r} = 0, \quad r = 0 \quad t > 0 \quad (4.3)$$

$$M = M_e, \quad r = R_0 \quad t > 0 \quad (4.4)$$

A equação (4.1) com a condição inicial (4.2) e as condições de contorno (4.3) e (4.4) apresenta solução analítica, a qual foi reportada por Crank (1975), sendo representada pela seguinte expressão, na forma de série infinita:

$$\bar{M}^*(t) = \frac{\bar{M}(t) - M_e}{M_0 - M_e} = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{4}{R^2 \alpha_n^2} \text{EXP}(-D \alpha_n^2 t) \quad (4.5)$$

onde:

α_n = raízes de $J_0[R\alpha_n]=0$

J_0 = função de Bessel de ordem zero.

R_0 = raio inicial da banana

Neste ponto, cabe um breve comentário sobre os estudos preliminares realizados com a solução analítica, referente à expressão (4.5). Acredita-se que estes estudos marcaram prioritariamente pelo esclarecimento da definição metodológica, do que pelo sucesso do próprio modelo, razão pela qual não se pretende apresentar resultados, mas discutir suas orientações. Além disso, acrescenta-se que o Modelo 1 será resolvido também numericamente e seus resultados poderão ser apreciados no próximo capítulo, evitando-se a redundância de análises.

Observando-se a expressão (4.5), ressalta-se que o único parâmetro desconhecido é o coeficiente de difusão, o qual pode ser obtido mediante uma técnica de ajuste de parâmetros que permita minimizar as diferenças entre os valores experimentais de RU e os calculados pela equação. O programa estatístico SAS para modelos não-lineares foi utilizado para este fim.

A metodologia utilizada nos estudos realizados com a solução analítica foi baseada no trabalho de Nogueira (1991) e previa o ajuste do coeficiente de difusão para diferentes valores de n , ou seja, considerando-se a série com diferentes números de termos. Fioreze (1986) também realizou investigação semelhante.

Os primeiros resultados destes estudos revelaram os problemas relacionados com a uniformidade do conjunto de dados, reportados no item 3.2.3.

Nogueira (1991) observou variação insignificante entre os valores do coeficiente de difusão determinados com $n=5$ e $n=20$, na solução (4.5). Este fato também foi verificado neste trabalho, indicando que o coeficiente de difusão determinado por este procedimento praticamente independe do número de termos da série. No entanto, os valores calculados da razão de umidade não seguem a mesma tendência. Por se tratar de uma série infinita, apresenta um erro de truncamento de acordo com o número de termos considerado, que é constatado para tempos iniciais do processo. Para ilustrar, foi feito um cálculo de erro relativo com os dados de um teste preliminar ($T=60,6^\circ\text{C}$ e $UR=26,2\%$), apenas para a condição inicial ($t=0$), calculando-se o valor de RU para $n=5$ ($RU=0,923$) e $n=20$ ($RU=0,980$). O resultado demonstrou que a utilização de um modelo com 5 termos, ao invés de um com 20, conduz a um erro de 5,82% no valor calculado de RU inicial.

A importância do desenvolvimento da solução numérica do Modelo 1 refere-se à possibilidade de comparação com a solução analítica do mesmo, o que proporciona uma avaliação sobre a precisão do método numérico escolhido.

Para a obtenção da solução numérica, a equação (4.1) foi adimensionalizada, definindo-se as seguintes variáveis adimensionais:

$$r^* = \frac{r}{R_0} \quad (4.6)$$

$$t^* = \frac{tD}{R_0^2} \quad (4.7)$$

$$M^* = \frac{M(r,t) - M_e}{M_0 - M_e} \quad (3.2)$$

A substituição destas variáveis em (4.1) a (4.4) dá origem às seguintes expressões:

$$\frac{\partial M^*}{\partial t^*} = \frac{1}{r^*} \frac{\partial M^*}{\partial r^*} + \frac{\partial^2 M^*}{\partial r^{*2}} \quad (4.8)$$

$$M^* = 1 \quad r^* \geq 0 \quad t^* = 0 \quad (4.9)$$

$$M^* = 0 \quad r^* = 1 \quad t^* > 0 \quad (4.10)$$

$$\frac{\partial M^*}{\partial r^*} = 0 \quad r^* = 0 \quad t^* > 0 \quad (4.11)$$

Discretizando-se (4.8) a (4.11) através do método explícito de diferenças finitas (Apêndice B), obtém-se a solução numérica do modelo de difusão representada pelas seguintes expressões:

$$M^*_{i,j+1} = \frac{L^2 \Delta t^*}{2i} [(1+2i)M^*_{i+1,j} + (2i-1)M^*_{i-1,j}] + (1-2L^2 \Delta t^*)M^*_{i,j} \quad (4.12)$$

$$M^* = 1 \quad r^* \geq 0 \quad t^* = 0 \quad (4.13)$$

$$M^* = 0 \quad r^* = 1 \quad t^* > 0 \quad (4.14)$$

$$M^*_{0,j+1} = \frac{4M^*_{1,j+1} - M^*_{2,j+1}}{3} \quad r^* = 0 \quad t^* > 0 \quad (4.15)$$

O método explícito de diferenças finitas requer que a condição de estabilidade, dada por

$$\frac{D \Delta t}{(\Delta r)^2} \leq \frac{1}{2} \quad (4.16)$$

seja garantida em todas as soluções numéricas.

Na forma dos adimensionais definidos em (4.6) e (4.7) pode-se escrever:

$$L^2 \Delta t^* \leq \frac{1}{2} \quad (4.17)$$

Cabe ressaltar que os testes de refinamento da malha representados pelo valor do passo de tempo e do número de pontos no raio garantem, com grande margem de segurança, esta condição.

Modelo 2

O modelo 2 foi desenvolvido alterando-se a condição de contorno em $r=R_0$ ($r^*=1$), para se considerar o efeito convectivo do ar de secagem na superfície da banana. As outras considerações permaneceram inalteradas.

Assim a condição de contorno (4.4) foi substituída por:

$$-D \frac{\partial M}{\partial r} = h_m (M - M_e) \quad r=R_0 \quad t>0 \quad (4.18)$$

a qual expressa que o fluxo difusivo de água proveniente do interior do produto é transferido ao ar de secagem por convecção na superfície do mesmo.

O novo conjunto das equações adimensionalizadas será formado pelas expressões anteriormente apresentadas (4.8), (4.9) e (4.11), sendo a (4.10) substituída por:

$$-\frac{\partial M^*}{\partial r^*} = Bi_m \cdot M^* \quad r^* = 1 \quad t^* > 0 \quad (4.19)$$

onde Bi_m corresponde ao número de Biot para processos de transferência de massa e é definido pelo seguinte grupo adimensional:

$$Bi_m = \frac{h_m R_0}{D} \quad (4.20)$$

Finalmente, o modelo com as equações discretizadas mantém as mesmas expressões (4.12), (4.13) e (4.15), sendo a (4.14) substituída por:

$$M^*_{Lj+1} = \frac{4M^*_{L-1j+1} - M^*_{L-2j+1}}{3 - 2Bi_m} \quad r^* = 1 \quad t^* > 0 \quad (4.21)$$

Modelo 3

O terceiro modelo apresenta as mesmas hipóteses que o Modelo 1, porém, desta feita, levando em consideração o encolhimento que sofre a fruta durante o processo. A inclusão deste fenômeno nas hipóteses originais, de acordo com o tratamento adotado, requer a substituição da derivada parcial do teor de umidade no tempo pela derivada total nas expressões (4.1) e (4.8).

O encolhimento, cujo desenvolvimento experimental aparece detalhado no item 3.2.4, foi representado pela variação do raio adimensional em função da razão de umidade média, segundo a expressão (3.4).

A opção de se trabalhar com encolhimento unidirecional fundamenta-se,

primeiramente, na coerência com a hipótese de cilindro infinito, pela qual a migração de umidade ocorre somente na direção radial. Além disso, através de observações experimentais, foi possível constatar que o encolhimento na direção radial ocorreu de forma mais pronunciada que na direção axial.

A expressão (3.4) permite a atualização do raio adimensional, a cada vez que um novo valor da razão de umidade média é calculado.

Numericamente, o encolhimento foi tratado como uma "malha elástica", ou seja, mantendo-se o número de pontos no raio e atualizando-se os valores dos subintervalos através da divisão do raio novo por 40. Este valor representa o número de subdivisões do raio utilizado nas soluções numéricas e resultante de um estudo de refinamento da malha, apresentado com detalhe no próximo capítulo.

O conjunto de equações discretizadas que descreve o Modelo 3 é formado pelas expressões (4.12), (4.13), (4.14), (4.15), e (3.4).

Modelo 4

O Modelo 4 foi desenvolvido com base nas hipóteses do Modelo 2, com a inclusão da expressão (3.4) para o estudo do encolhimento.

Este modelo foi caracterizado como o mais completo, onde todos os fenômenos físicos que se pretendia analisar foram incluídos, a saber: efeito convectivo do ar de secagem na superfície da banana e encolhimento da fruta durante o processo.

O conjunto de equações discretizadas que descreve este modelo é formado pelas expressões (4.12), (4.13), (4.15), (4.21) e (3.4).

4.2 Cálculo do valor médio da razão de umidade na secção

O programa desenvolvido calcula, para cada passo de tempo, a distribuição da razão de umidade no raio da banana, ou seja, os valores locais.

A comparação com os valores experimentais, ou o cálculo da soma dos quadrados dos resíduos, requer que se determine a razão de umidade média teórica para os intervalos de tempo desejados, no caso, 0,25 horas.

A razão de umidade média teórica num comprimento unitário da banana pode ser definida como:

$$RU(t^*) = \frac{1}{\Pi} \int_0^1 M^*(r^*, t^*) 2\Pi r^* dr^* \quad (4.22)$$

Resolvendo-se numericamente a integral pela regra de Simpson, tem-se a seguinte expressão:

$$\begin{aligned} \bar{M}^* = \frac{\Delta r^*}{3} [& M^*_0 r^*_0 + 4M^*_1 r^*_1 + 2M^*_2 r^*_2 + 4M^*_3 r^*_3 + 2M^*_4 r^*_4 + \dots \\ & + 2M^*_{L-4} r^*_{L-4} + 4M^*_{L-3} r^*_{L-3} + 2M^*_{L-2} r^*_{L-2} + 4M^*_{L-1} r^*_{L-1} + M^*_L r^*_L] \end{aligned} \quad (4.23)$$

4.3 Processo de cálculo

A partir da descrição matemática dos modelos, foram desenvolvidos programas na linguagem Turbo Pascal 7.0, para a obtenção das soluções numéricas. Em resumo, o programa calcula sucessivamente a razão de umidade para todos os pontos da malha, integrando-os, em intervalos regulares de 0,25 horas, para o cálculo da média e, posteriormente, determina a soma dos quadrados dos resíduos. As listagens dos programas utilizados para os cálculos dos modelos podem ser encontradas no Apêndice C.

4.3.1 Coeficiente de difusão

A determinação do coeficiente de difusão baseou-se no princípio da minimização da soma dos quadrados dos resíduos entre os valores de razão de umidade calculados pelo respectivo modelo e os dados experimentais correspondentes, definida pela seguinte expressão:

$$SQR = \sum_{j=0}^X [RU_j - \bar{M}^*_j]^2 \quad (4.24)$$

A minimização desta expressão foi conseguida mediante um procedimento de investigação sucessiva de diferentes valores do coeficiente de difusão e análise da tendência de decréscimo nos resultados da soma dos quadrados dos resíduos correspondente.

O nível de precisão admitido na estimativa do coeficiente de difusão foi de 10^{-10} .

O critério estabelecido para o melhor valor do coeficiente de difusão foi tal que a diferença entre a soma dos quadrados dos resíduos atual e anterior fosse menor que 10^{-8} .

No caso das soluções que incluíam o encolhimento (Modelos 3 e 4), foi inserido no programa um comando que atualizava o raio adimensional e as dimensões de seus subintervalos a cada novo valor calculado da razão de umidade média. O restante do processo de cálculo permaneceu inalterado.

Os resultados para os coeficientes de difusão obtidos nos diferentes modelos, dentro das condições de secagem analisadas, encontram-se na Tabela 9, no capítulo seguinte.

Após a realização destes cálculos, procurou-se investigar a influência da temperatura do ar de secagem sobre os valores obtidos do coeficiente de difusão. Nos processos de secagem, usualmente, este efeito pode ser avaliado por uma equação do tipo Arrhenius (Suarez, Viollaz e Chirife, 1980; Steffe e Sing, 1980; Mulet et alli, 1983; Berna et alli, 1990; Vagenas e Marinos-Kouris, 1991c):

$$D = D_0 \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) \quad (4.25)$$

onde:

E_a = energia de ativação [KJ/kmol]

T = temperatura absoluta do ar [Kelvin]

R = constante universal dos gases ideais = 8,314 kJ/kmol-K

Na forma logarítmica, a expressão (4.25) apresenta-se como uma função linear que relaciona o coeficiente de difusão com o inverso da temperatura.

$$\ln(D) = \ln(D_0) - \frac{E_a}{RT} \quad (4.26)$$

Portanto, um método de regressão linear aplicado aos valores do coeficiente de difusão e às respectivas temperaturas permite a obtenção de D_0 e da energia de ativação. Os resultados desta investigação encontram-se registrados na Tabela 10, no capítulo seguinte.

4.3.2 Coeficiente convectivo de transferência de massa na superfície

No caso dos modelos que incorporam os efeitos de convecção do ar de secagem na condição de contorno (Modelos 2 e 4), o coeficiente convectivo de transferência de massa foi

determinado, adotando-se o mesmo procedimento utilizado na determinação do coeficiente de difusão, ou seja, investigação sucessiva de diferentes valores do coeficiente convectivo no sentido da minimização da soma dos quadrados dos resíduos. Nos modelos onde aparecem os dois coeficientes (Modelos 2 e 4), quando a investigação era feita para o coeficiente de difusão, o valor atribuído ao coeficiente convectivo era mantido inalterado e vice-versa, até o final da operação de minimização. O nível de precisão utilizado na determinação do referido coeficiente foi de 10^{-6} , com o mesmo critério de escolha do melhor valor, adotado na investigação do coeficiente de difusão. Um método semelhante foi utilizado por Vagenas e Marinos-Kouris (1991) estudando a secagem de damasco.

Os valores obtidos para os coeficientes convectivos de transferência de massa na superfície da banana encontram-se na Tabela 9, do Capítulo 5.

4.3.3 Arquivos dos resultados

Com os valores obtidos do coeficiente de difusão e do coeficiente convectivo de transferência de massa na superfície da fruta, ajustados pelos modelos, para todas as situações de secagem estudadas, foram gerados os arquivos dos resultados, contento: número de pontos experimentais, tempo de secagem em fração de hora, dados experimentais de razão de umidade, valores de razão de umidade média calculados pelo respectivo modelo e resíduo definido pela diferença entre a razão de umidade experimental e teórica. Estes dados são reportados no Apêndice F, para os modelos desenvolvidos e condições de secagem analisadas. Os gráficos correspondentes encontram-se no próximo capítulo.

Capítulo 5

Resultados e Discussão

5.1 Resultados Preliminares

Em análises preliminares foi feita uma avaliação da adequação do Modelo 1, calculado analiticamente pela equação (4.5), aos dados experimentais. Observou-se, em todos os casos, desvios sistemáticos entre as duas curvas, indicando a necessidade de se incluir no modelo, algum outro efeito, não considerado. Os gráficos resultantes da solução numérica do Modelo 1 poderão ser avaliados neste capítulo, sendo equivalentes aos obtidos pela solução analítica do mesmo. Concluiu-se que o modelo difusional com as hipóteses estabelecidas e descritas matematicamente pelas expressões (4.1) a (4.4) não se mostrou adequado para explicar totalmente o fenômeno de transferência de umidade durante a secagem de bananas, devendo ser alterado para incluir outros fenômenos particularmente relevantes no processo, a saber: convecção na superfície da fruta e encolhimento da mesma durante a operação. No primeiro caso, o modelo tem solução analítica, porém esta não foi utilizada devido à complexidade do ajuste do coeficiente de difusão. A opção pelo desenvolvimento da solução numérica para todos os modelos foi reforçada pela inexistência de solução analítica da equação da difusão para corpos que encolhem durante o processo de secagem. No entanto, considerando-se que a solução analítica poderia ser uma ferramenta importante para a escolha e validação do método numérico, decidiu-se pelo desenvolvimento das duas formas de solução apenas para o Modelo 1.

Estas duas soluções foram utilizadas também para o estudo do refinamento da malha, ou seja, a seleção adequada do número de subdivisões do raio e do passo de tempo de forma a proporcionar a convergência dos resultados com bom nível de precisão. Foram analisadas

as respostas do programa para passos de tempo de 0,001 e 0,0005 horas e número de subintervalos do raio de 10, 20, 30 e 40.

Este estudo foi feito previamente com base em dados experimentais de um teste de secagem realizado à temperatura de 60,6°C e umidade relativa de 26,2%. O valor do raio inicial da banana foi de 0,01448 m e, nestas condições, o coeficiente de difusão estimado pelo SAS foi de $1,8045 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{h}$, o qual foi utilizado no estudo do refinamento da malha com a solução numérica.

Os resultados, apresentados no próximo item, nas Tabelas 7 e 8, indicaram que uma malha de 40 subdivisões no raio com os cálculos realizados em intervalos de 0,001 hora seria adequada às finalidades desejadas. Assim sendo, todas as soluções numéricas posteriores foram obtidas com estes valores.

5.2 Resultados dos estudos de refinamento da malha

Tabela 7 - Razão de umidade numérica para diferentes números de subdivisões do raio, com passo de tempo de 0,001 hora.

Tempo (h)	RU numérica					
	L=10	L=20	L=30	L=40	RU analítica	RU experim.
0	0,9000	0,9500	0,9667	0,9750	0,9231	1,0000
0,03	0,8947	0,9395	0,9517	0,9564	0,9174	0,9999
0,10	0,8845	0,9215	0,9292	0,9318	0,9065	0,9977
0,50	0,8332	0,8515	0,8546	0,8556	0,8512	0,9660
1,00	0,7843	0,7965	0,7986	0,7994	0,7984	0,9212
2,00	0,7118	0,7202	0,7217	0,7222	0,7216	0,8405
5,40	0,5563	0,5613	0,5622	0,5625	0,5622	0,6190
10,10	0,4233	0,4267	0,4273	0,4275	0,4278	0,4075
20,10	0,2529	0,2545	0,2548	0,2549	0,2550	0,1520
27,60	0,1741	0,1750	0,1752	0,1752	0,1752	0,0708

Tabela 8 - Razão de umidade numérica para diferentes números de subdivisões no raio, com passo de tempo de 0,0005 hora.

Tempo (h)	RU numérica			
	L=10	L=20	L=30	L=40
0	0,9000	0,9500	0,9667	0,9750
0,03	0,8947	0,9395	0,9517	0,9565
0,10	0,8845	0,9215	0,9293	0,9318
0,50	0,8332	0,8515	0,8546	0,8556
1,00	0,7843	0,7965	0,7986	0,7994
2,00	0,7118	0,7202	0,7217	0,7222
5,40	0,5563	0,5613	0,5622	0,5625
10,10	0,4233	0,4267	0,4273	0,4275
20,10	0,2529	0,2545	0,2548	0,2549
27,60	0,1741	0,1750	0,1752	0,1752

Comparando-se as tabelas 7 e 8, ressalta-se que o passo de tempo de 0,001 hora mostrou-se adequado para a convergência da solução numérica, dada a grande proximidade aos valores obtidos com passo de 0,0005 hora.

Por outro lado, a comparação dos resultados numéricos com os analíticos indica que a convergência da razão de umidade é melhor, para tempos maiores de secagem, sendo que o número maior de subintervalos no raio melhora os resultados. No entanto, um número excessivo de pontos na malha aumenta sobremaneira o tempo computacional. Nesse sentido, nota-se que o erro numérico (diferença entre os valores de razão de umidade para os distintos números de subintervalos no raio), obtido entre os valores das colunas correspondentes a L=10 e L=20, apresenta resultados da ordem de 10^{-3} , apenas para tempos de secagem superiores a 5 horas, enquanto que entre as colunas L=30 e L=40, esta ordem do erro ocorre já no tempo inicial, sendo que para tempos de secagem superiores a 0,5 hora este valor apresenta-se abaixo desta cifra. Note-se, ainda, a superioridade da solução numérica sobre a analítica, na forma de uma série truncada, para os tempos iniciais de secagem, podendo ser constatada através da comparação de cada um destes resultados com os correspondentes experimentais. Ressalta-se

que os valores de razão de umidade calculados pela solução analítica foram obtidos considerando-se a expressão (4.5) como uma série com cinco termos, conforme recomendado por Nogueira (1991). Portanto, melhores resultados podem ser conseguidos, neste último caso, se a série contiver maior número de termos.

5.3 Curvas teóricas de secagem obtidas nos modelos

5.3.1 Modelo 1: Coeficiente de difusão constante - Condição de equilíbrio na superfície Sem encolhimento.

As Figuras 4 a 9 apresentam as curvas teóricas da variação da razão de umidade no tempo calculadas pelo Modelo 1, juntamente com os pontos experimentais da cinética de secagem de bananas, para todas as condições estudadas. As tabelas correspondentes aos dados experimentais encontram-se no Apêndice F.

Conforme mencionado no item 5.1, quando se tratou dos resultados obtidos pela solução analítica do mesmo modelo, pode-se observar os desvios sistemáticos que ocorrem entre as duas curvas em todas as situações, indicando que as hipóteses assumidas neste modelo não são suficientes para descrever completamente o fenômeno. Os desvios negativos no início do processo reforçam a importância de se considerar o fenômeno convectivo do ar de secagem na superfície do produto, particularmente importante no início do processo, em cuja faixa, a suposição de equilíbrio está longe da situação real. Por outro lado, os desvios positivos no final do processo parecem depender mais da inclusão do fenômeno do encolhimento, supondo-se que a situação de equilíbrio com o ar de secagem na superfície da fruta, neste período final, já fora atingida.

O valor do coeficiente de difusão ajustado em cada caso é reportado nas legendas das figuras.

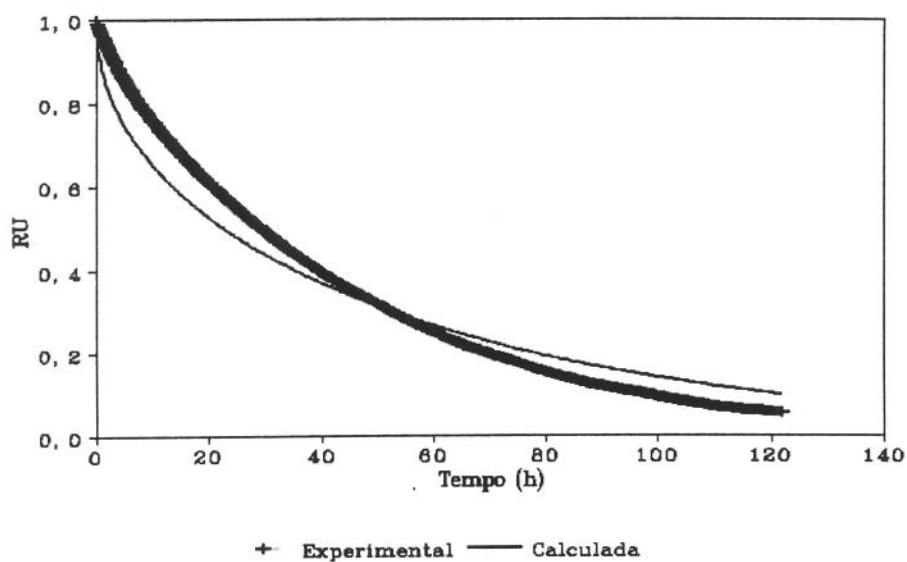


Figura 4 - Curva de secagem calculada pelo Modelo 1 para $T=29,9^{\circ}\text{C}$ e $UR=35,7\%$ ($D = 2,01 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$).

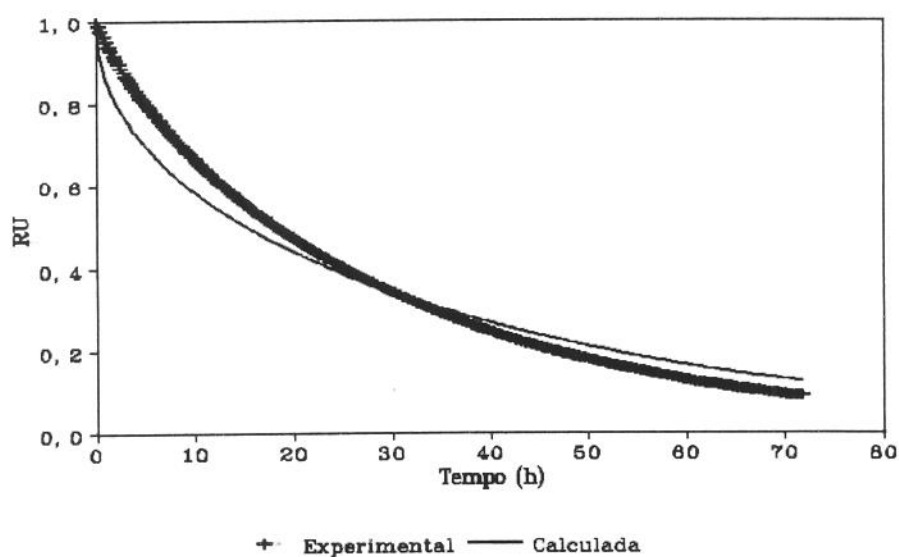


Figura 5 - Curva de secagem calculada pelo Modelo 1 para $T=39,9^{\circ}\text{C}$ e $UR=19,3\%$ ($D = 2,82 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$).

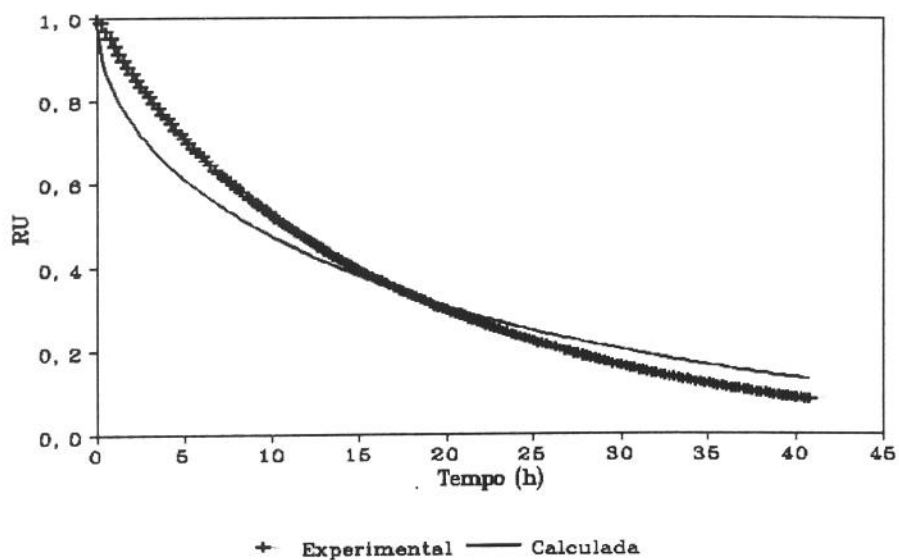


Figura 6 - Curva de secagem calculada pelo Modelo 1 para $T=49,9^{\circ}\text{C}$ e $UR=19,2\%$ ($D = 4,57 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$).

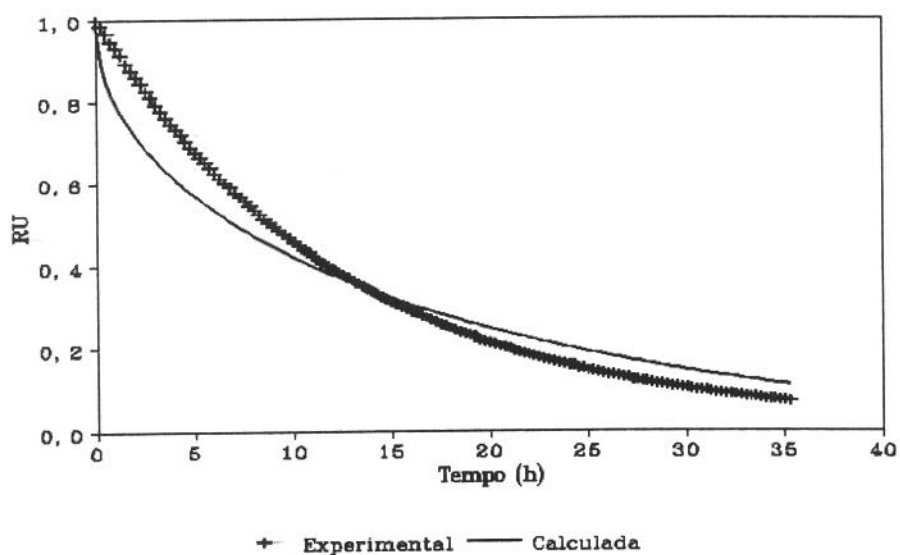


Figura 7 - Curva de secagem calculada pelo Modelo 1 para $T=60,2^{\circ}\text{C}$ e $UR=19,9\%$ ($D = 5,83 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$).

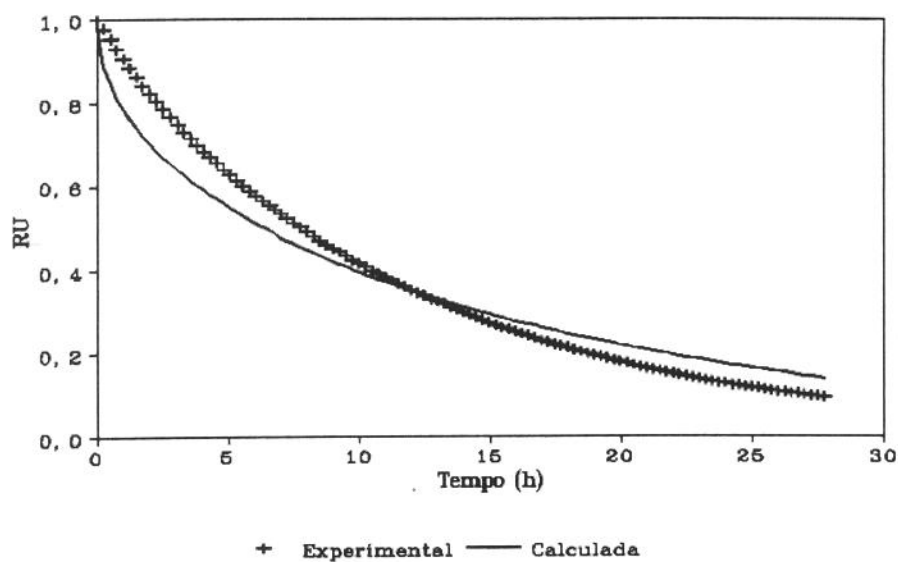


Figura 8 - Curva de secagem calculada pelo Modelo 1 para $T=60,5^{\circ}\text{C}$ e $UR=10,7\%$ ($D = 6,26 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$).

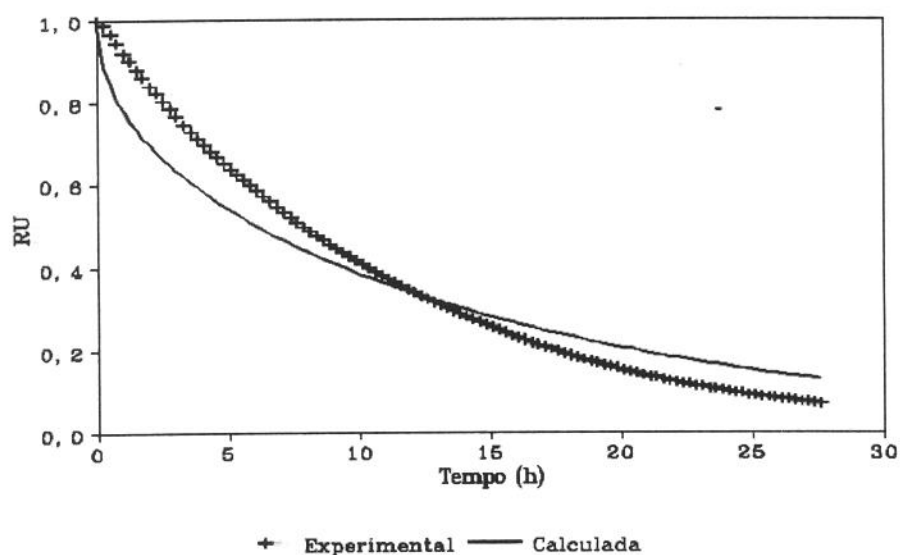


Figura 9 - Curva de secagem calculada pelo Modelo 1 para $T=68,4^{\circ}\text{C}$ e $UR=7,3\%$ ($D = 6,98 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$).

5.3.2 Modelo 2: Coeficiente de difusão constante - Condição convectiva na superfície - Sem encolhimento.

A seguir são apresentados os resultados do Modelo 2, ilustrados pelas Figuras 10 a 15 para todos os testes experimentais realizados.

Ressalta-se o adequado ajuste que pode ser obtido com um modelo a dois parâmetros, verificado pela proximidade dos pontos experimentais à curva teórica em todos os casos. A questão do coeficiente de difusão será retomada mais adiante (item 5.4), mas desde já pode-se apontar que a inclusão do efeito convectivo inicial resulta na obtenção de valores significativamente maiores deste coeficiente comparado com aqueles obtidos com o modelo anterior.

Cabe discutir alguns aspectos relacionados à representação adequada dos fenômenos físicos presentes. O Modelo 2 leva em conta o fenômeno convectivo na superfície da fruta, mas não inclui o encolhimento, que ocorre de forma significativa durante o processo. Assim, acredita-se que este fenômeno possa estar incorporado nos coeficientes de difusão e convectivo determinados. Esta hipótese pode ser reforçada, ainda, pela metodologia utilizada para a obtenção dos coeficientes, a qual apresentou uma resposta muito boa em termos do ajuste aos dados experimentais, mas não consegue esclarecer a representação física do processo. Cabe, ainda, acrescentar a precariedade de informações com relação às formas mais precisas para o cálculo do coeficiente convectivo de transferência de massa para produtos biológicos, o que pode conduzir a alternativas incompletas. Mais adiante serão analisados os valores obtidos para o coeficiente convectivo (item 5.4).

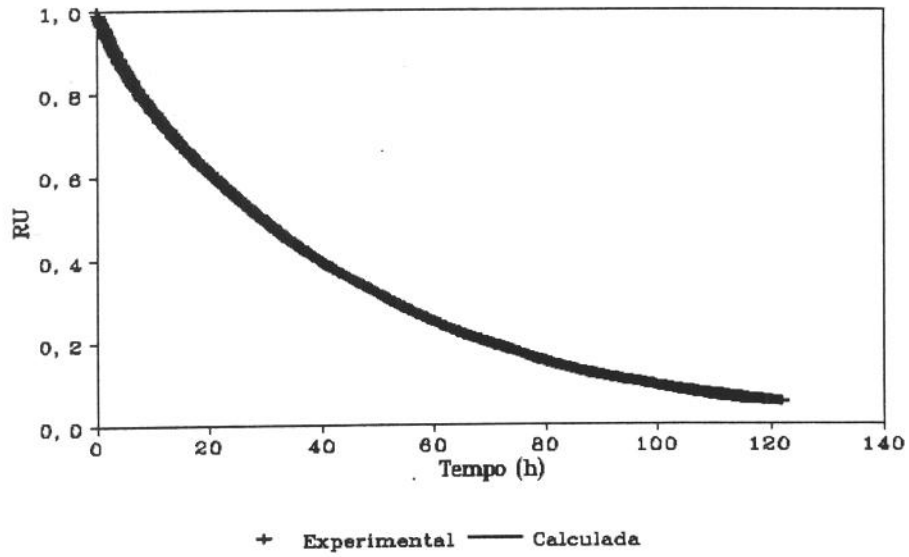


Figura 10 - Curva de secagem calculada pelo Modelo 2 para $T=29,9^{\circ}\text{C}$ e $UR=35,7$ ($D = 4,95 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ / $h_m = 9,19 \times 10^{-8} \text{ m/s}$).

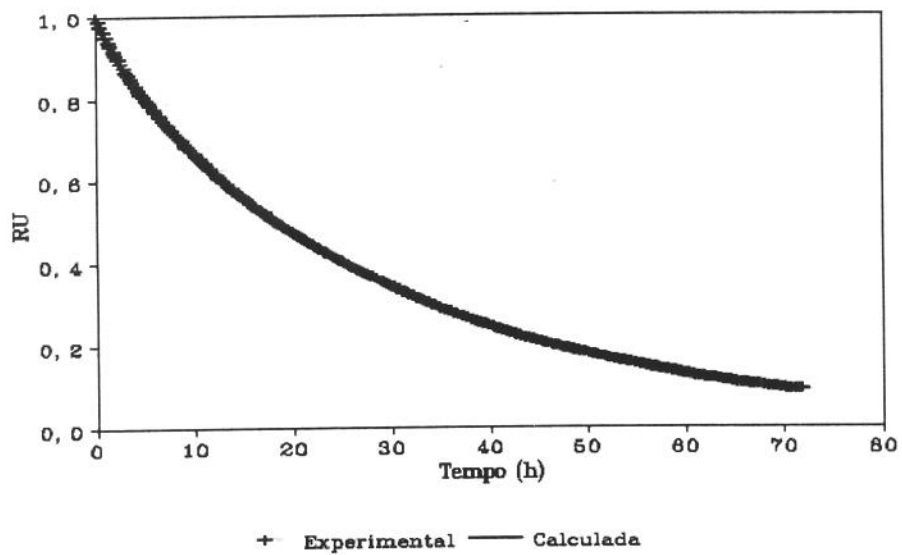


Figura 11 - Curva de secagem calculada pelo Modelo 2 para $T=39,9^{\circ}\text{C}$ e $UR=19,3\%$ ($D = 5,59 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ / $h_m = 1,66 \times 10^{-7} \text{ m/s}$).

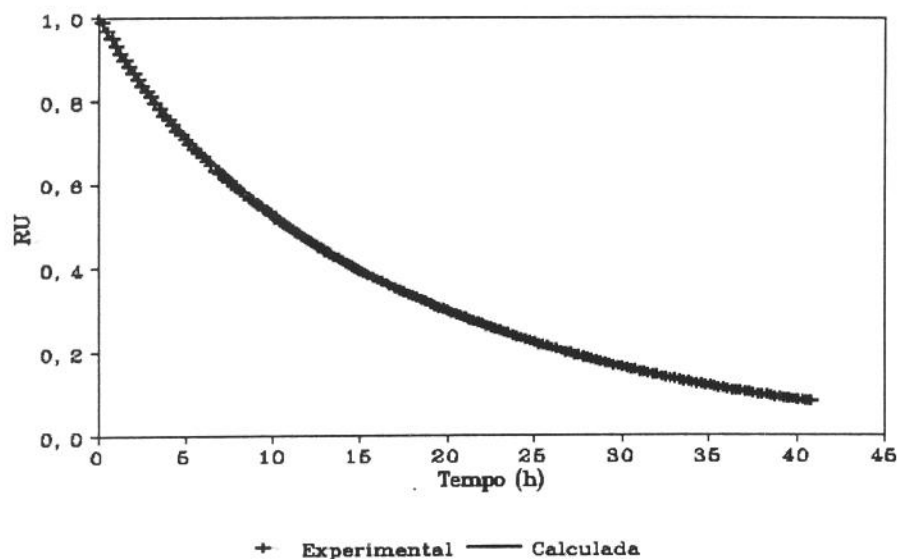


Figura 12 - Curva de secagem calculada pelo Modelo 2 para $T=49,9^{\circ}\text{C}$ e $UR=19,2\%$ ($D = 1,86 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ / $h_m = 1,79 \times 10^{-7} \text{ m/s}$).

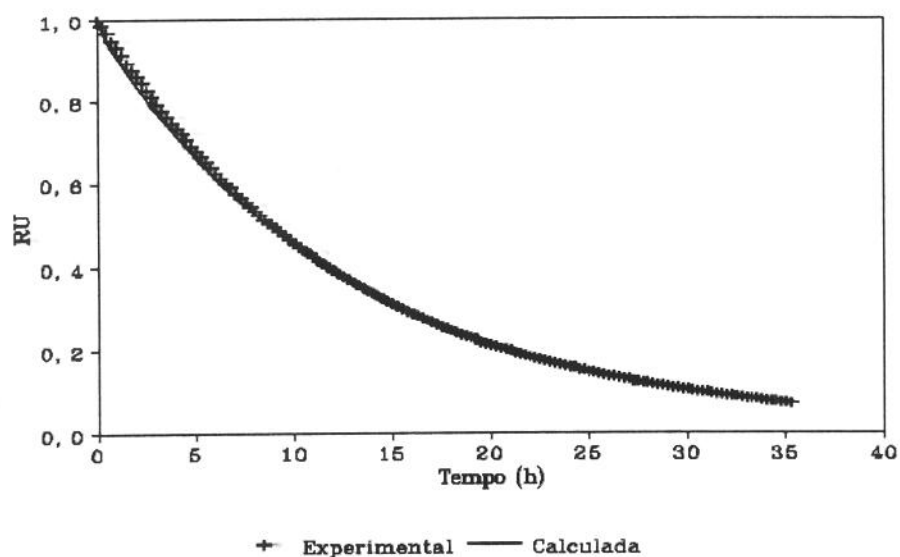


Figura 13 - Curva de secagem calculada pelo Modelo 2 para $T=60,2^{\circ}\text{C}$ e $UR=19,9\%$ ($D = 1,85 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ / $h_m = 2,48 \times 10^{-7} \text{ m/s}$).

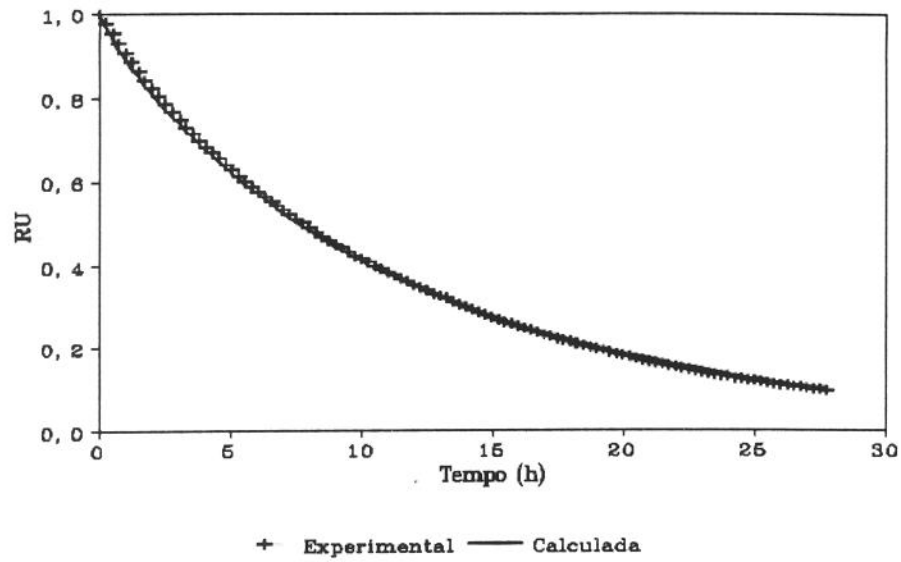


Figura 14 - Curva de secagem calculada pelo Modelo 2 para T=60,5°C e UR=10,7% ($D = 1,59 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ / $h_m = 3,16 \times 10^{-7} \text{ m/s}$).

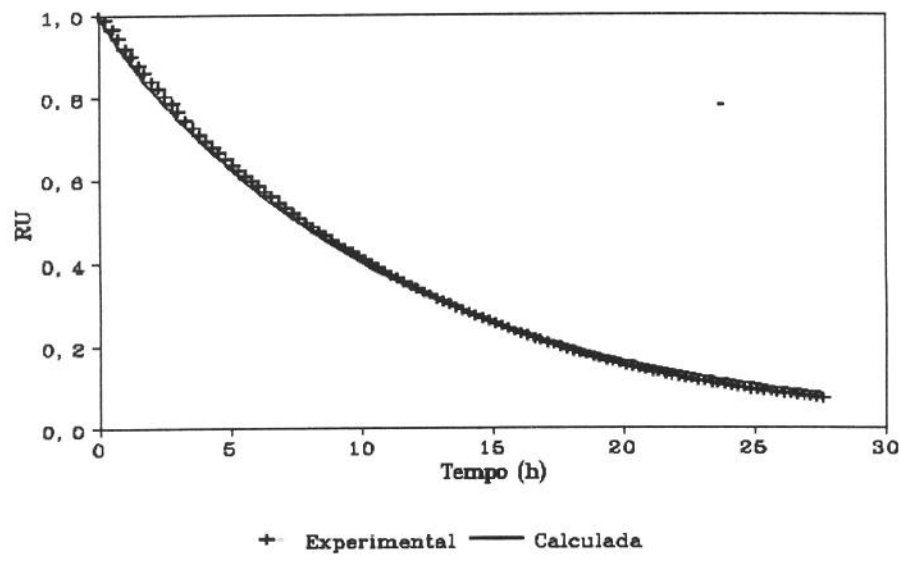


Figura 15 - Curva de secagem calculada pelo Modelo 2 para T=68,4°C e UR=7,3% ($D = 2,97 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ / $h_m = 2,64 \times 10^{-7} \text{ m/s}$).

5.3.3 Modelo 3: Coeficiente de difusão constante - Condição de equilíbrio na superfície - Com encolhimento

As Figuras 16 a 21 apresentam os resultados de variação da razão de umidade no tempo, calculados a partir do Modelo 3, juntamente com os pontos experimentais de secagem dos testes realizados.

Neste caso é possível avaliar separadamente a influência do encolhimento do produto sobre a adequação do modelo. Do ponto de vista experimental, observa-se nos resultados das medidas do diâmetro inicial e final das bananas (Apêndice E), que estas encolhem, em média, 43 a 47% de seu diâmetro original, durante o processo de secagem. Do ponto de vista teórico, pode-se verificar, conforme esperado, que a consideração deste fenômeno melhorou sobremaneira a adequação do modelo, principalmente, nos períodos finais de secagem, ainda que tenha apresentado uma melhoria também nos períodos iniciais, comparativamente às curvas resultantes do Modelo 1. Note-se pelos dados do Apêndice F, que, inclusive, foi o segundo melhor modelo, quanto à capacidade de reprodução dos dados experimentais no final do processo de secagem, em todas as situações estudadas. Desta forma, é possível sugerir a recomendação do Modelo 3 nos casos em que se revele maior interesse relacionado com o tempo de secagem, do que com o comportamento do produto durante o processo.

Da análise comparativa entre as curvas correspondentes a este modelo e aos anteriores, fica evidente que, mesmo obtendo-se um excelente ajuste ao levar em conta o fenômeno de encolhimento, o efeito convectivo na superfície não pode ser desprezado nas etapas iniciais do processo, em cujo período se observa maior afastamento entre os dados experimentais e os calculados.

Este modelo apresenta valores dos coeficientes difusivos mais baixos que os dois anteriores.

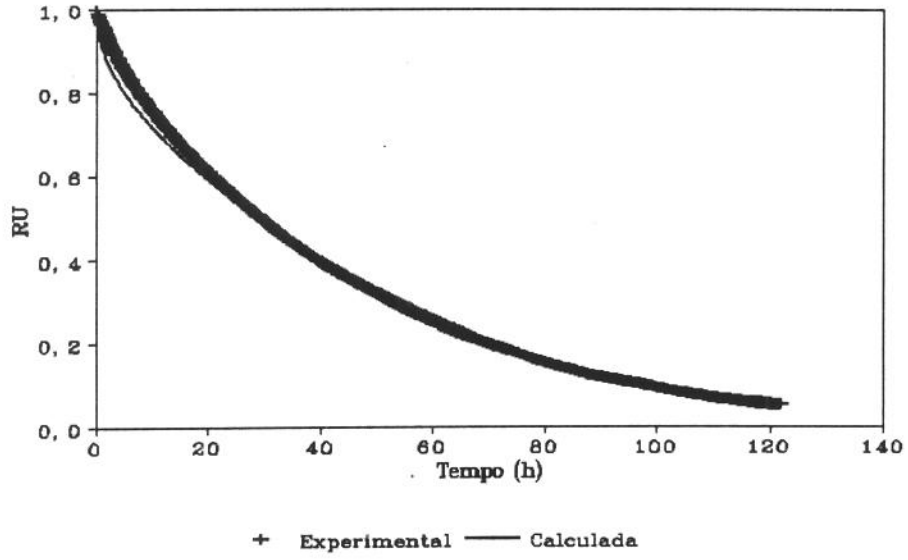


Figura 16 - Curva de secagem calculada pelo Modelo 3 para $T=29,9^{\circ}\text{C}$ e $UR=35,7\%$ ($D = 1,25 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$).

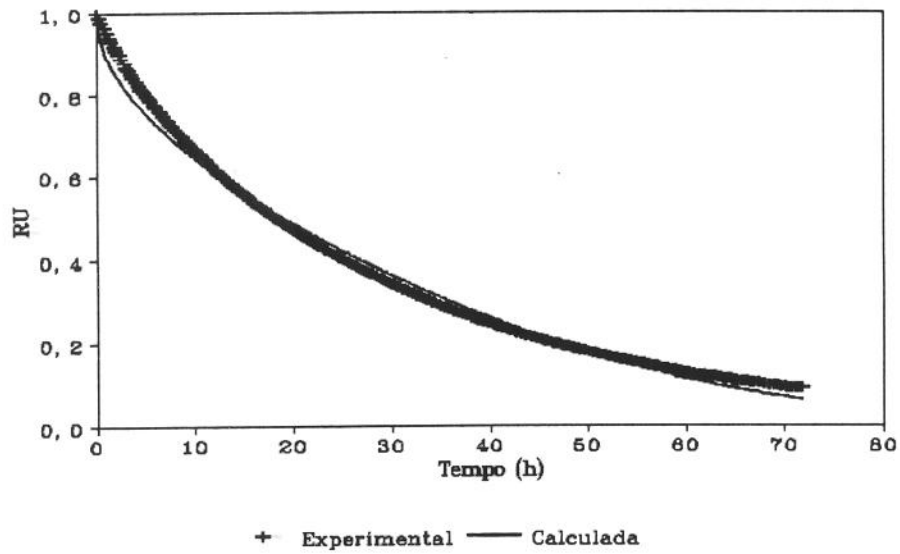


Figura 17 - Curva de secagem calculada pelo Modelo 3 para $T=39,9^{\circ}\text{C}$ e $UR=19,3\%$ ($D = 1,66 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$).

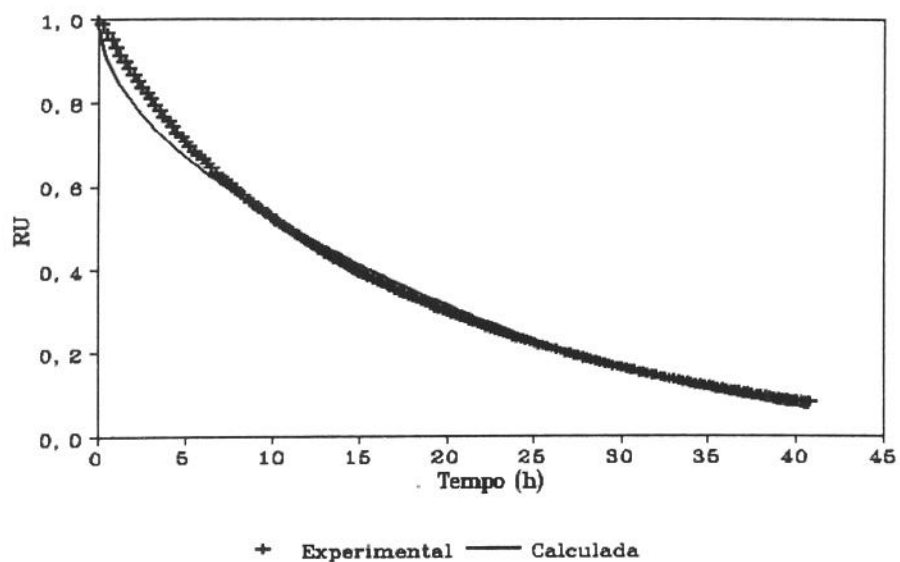


Figura 18 - Curva de secagem calculada pelo Modelo 3 para $T=49,9^{\circ}\text{C}$ e $UR=19,2\%$ ($D = 2,74 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$).

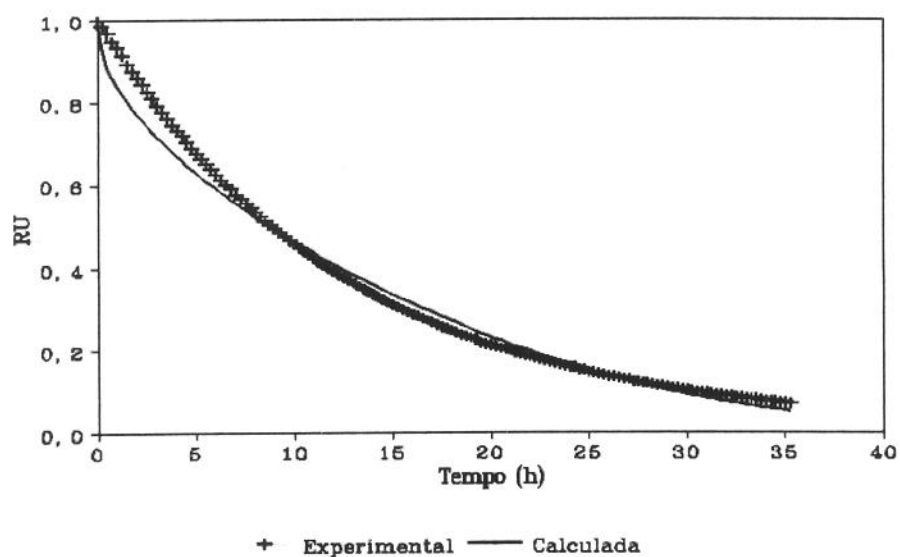


Figura 19 - Curva de secagem calculada pelo Modelo 3 para $T=60,2^{\circ}\text{C}$ e $UR=19,9\%$ ($D = 3,25 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$).

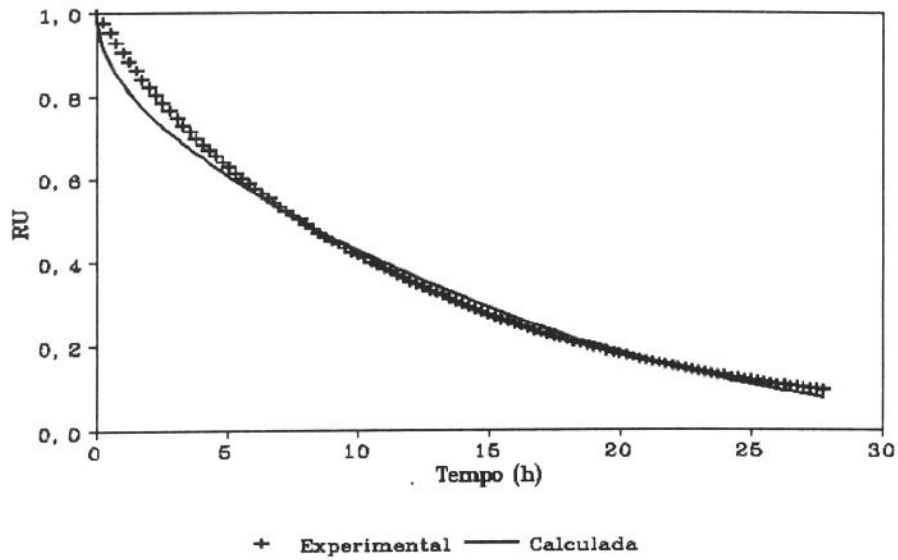


Figura 20 - Curva de secagem calculada pelo Modelo 3 para $T=60,5^{\circ}\text{C}$ e $UR=10,7\%$ ($D = 3,62 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$).

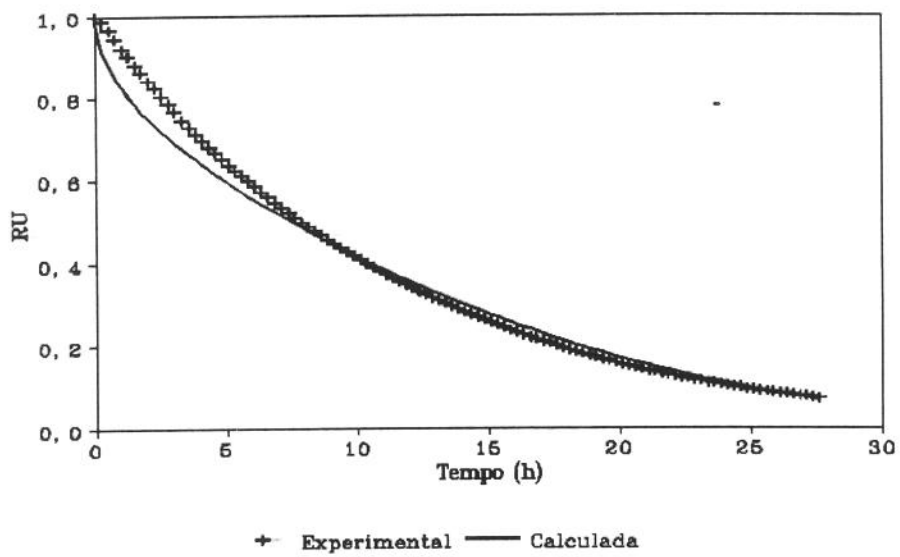


Figura 21 - Curva de secagem calculada pelo Modelo 3 para $T=68,4^{\circ}\text{C}$ e $UR=7,3\%$ ($D = 3,92 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$).

5.3.4 Modelo 4: Coeficiente de difusão constante - Condição convectiva na superfície - Com encolhimento

As curvas representativas da variação da razão de umidade no tempo obtidas pelo Modelo 4 são apresentadas nas Figuras 22 a 27, as quais incluem também os pontos experimentais da cinética de secagem de bananas em todas as condições estudadas.

Trata-se do modelo mais completo em termos da incorporação dos fenômenos físicos pertinentes ao processo de secagem de bananas. Observa-se que o Modelo 4 apresenta adequação superior aos Modelos 1 e 3, representada pela grande proximidade dos pontos experimentais à curva teórica, o que se deve aos baixos valores obtidos na soma dos quadrados dos resíduos (como podem ser observados na Tabela 9, no item 5.4). No entanto, parece ser menos adequado que o Modelo 2. Insere-se aqui a mesma linha de análise realizada no item 5.1.2, com relação à forma de determinação do coeficiente convectivo de transferência de massa. No entanto, cabe ressaltar que, neste caso, a consideração explícita do fenômeno do encolhimento na solução das equações do modelo possibilita maior credibilidade aos valores dos coeficientes determinados. Conclui-se, portanto, que, embora os valores de razão de umidade obtidos pelo Modelo 4 tenham ficado levemente mais distantes dos pontos experimentais em comparação com os resultados do Modelo 2, o primeiro é o modelo que melhor representa fisicamente o processo de secagem de bananas.

A comparação entre os Modelos 1 e 3 já indicava que a inclusão do encolhimento melhora significativamente os resultados, o que permite afirmar que este fenômeno é muito importante no processo. No entanto, a comparação entre os resultados do Modelo 2 e 4 revela a ocorrência de um fenômeno matemático incongruente: sabe-se, pelos resultados do Modelo 3, que a descrição física do Modelo 4 é mais completa e mais próxima da realidade; por outro lado, o Modelo 2 que despreza um fato real importante, o encolhimento, também proporciona um bom ajuste aos dados experimentais. Esta incongruência pode ser atribuída à metodologia matemática utilizada, ou seja, o ajuste dos parâmetros; parece evidente que, tendo-se um equacionamento razoável aliado a dados experimentais obtidos de um fenômeno lento e bem comportado, o ajuste de dois parâmetros, ao invés de apenas um, proporcione a obtenção de melhores resultados.

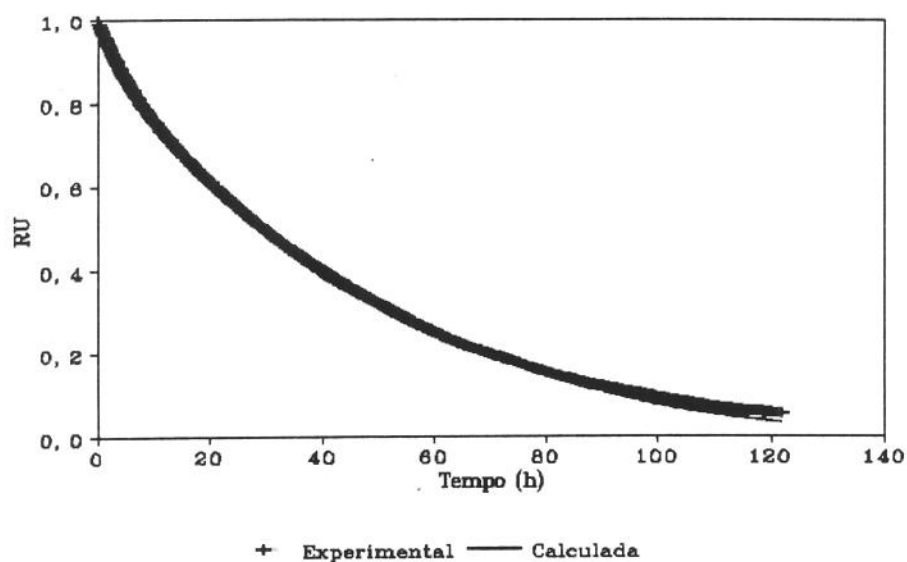


Figura 22 - Curva de secagem calculada pelo Modelo 4 para $T=29,9^{\circ}\text{C}$ e $UR=35,7\%$ ($D = 1,48 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ / $h_m = 3,19 \times 10^{-7} \text{ m/s}$).

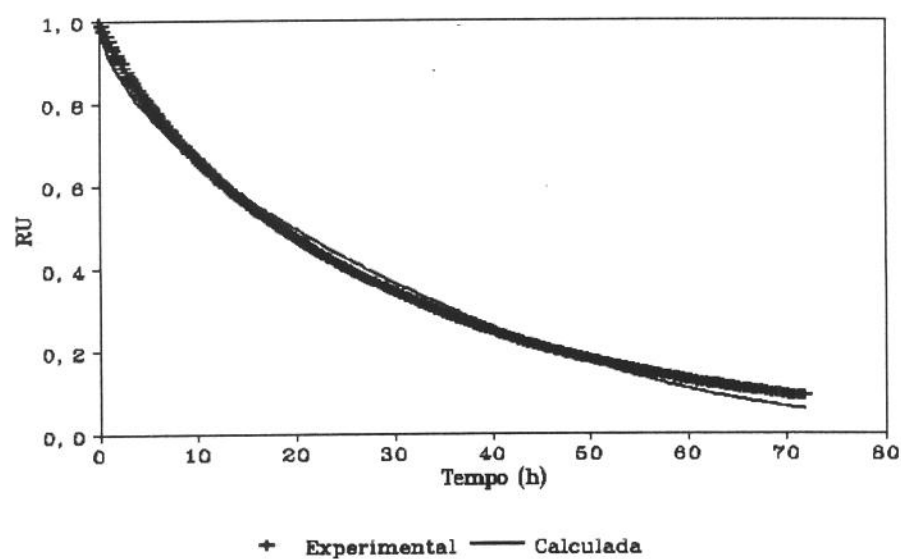


Figura 23 - Curva de secagem calculada pelo Modelo 4 para $T=39,9^{\circ}\text{C}$ e $UR=19,3\%$ ($D = 1,85 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ / $h_m = 6,96 \times 10^{-7} \text{ m/s}$).

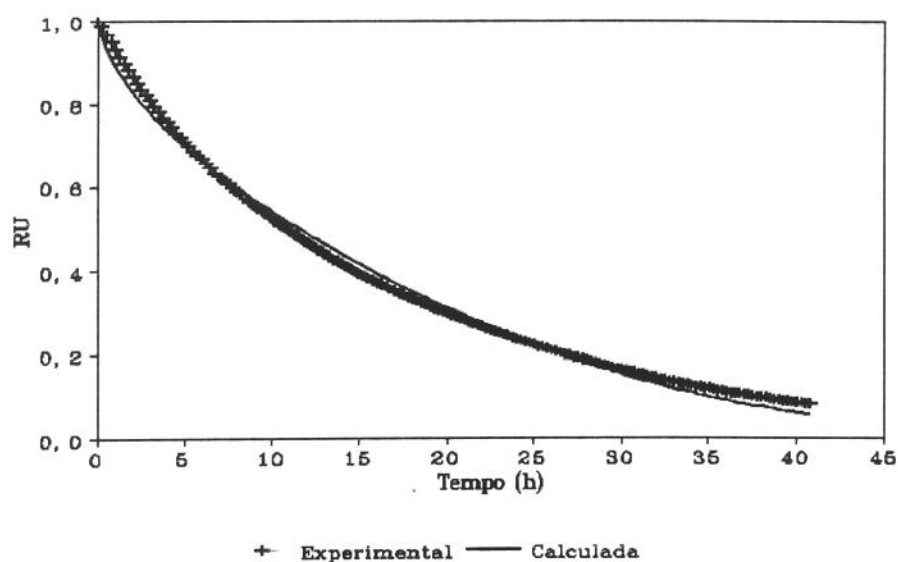


Figura 24 - Curva de secagem calculada pelo Modelo 4 para $T=49,9^{\circ}\text{C}$ e $UR=19,2\%$ ($D = 3,31 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ / $h_m = 6,94 \times 10^{-7} \text{ m/s}$).

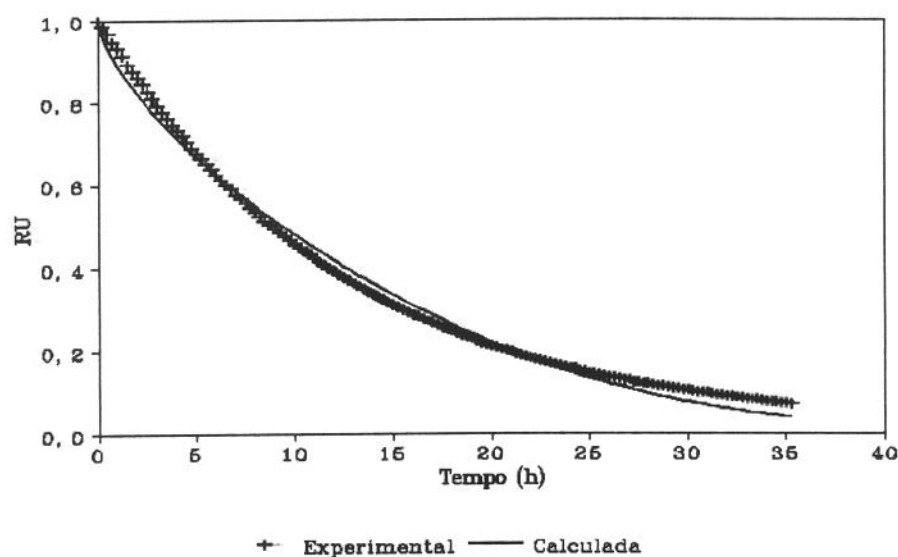


Figura 25 - Curva de secagem calculada pelo Modelo 4 para $T=60,2^{\circ}\text{C}$ e $UR=19,9\%$ ($D = 4,56 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ / $h_m = 4,96 \times 10^{-7} \text{ m/s}$).

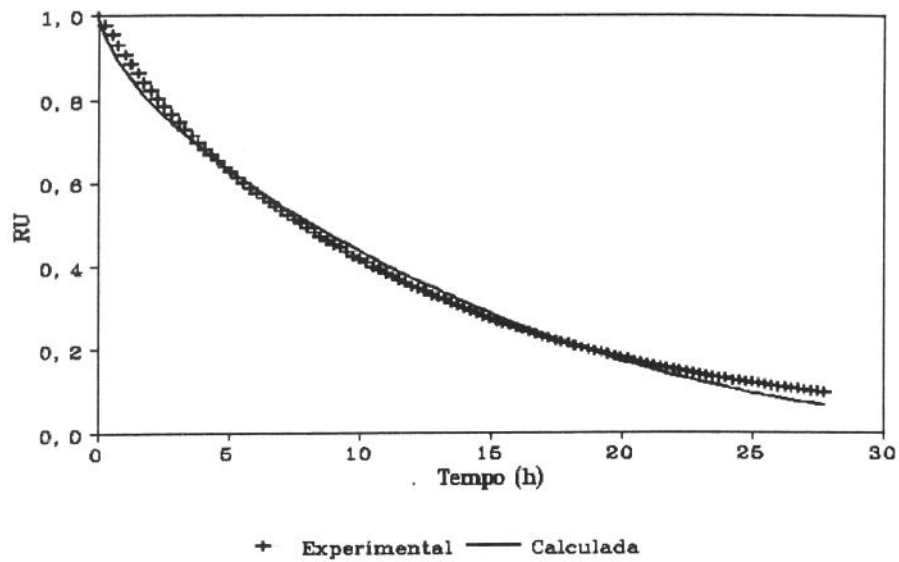


Figura 26 - Curva de secagem calculada pelo Modelo 4 para T=60,5°C e UR=10,7% ($D = 4,62 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ / $h_m = 7,50 \times 10^{-7} \text{ m/s}$).

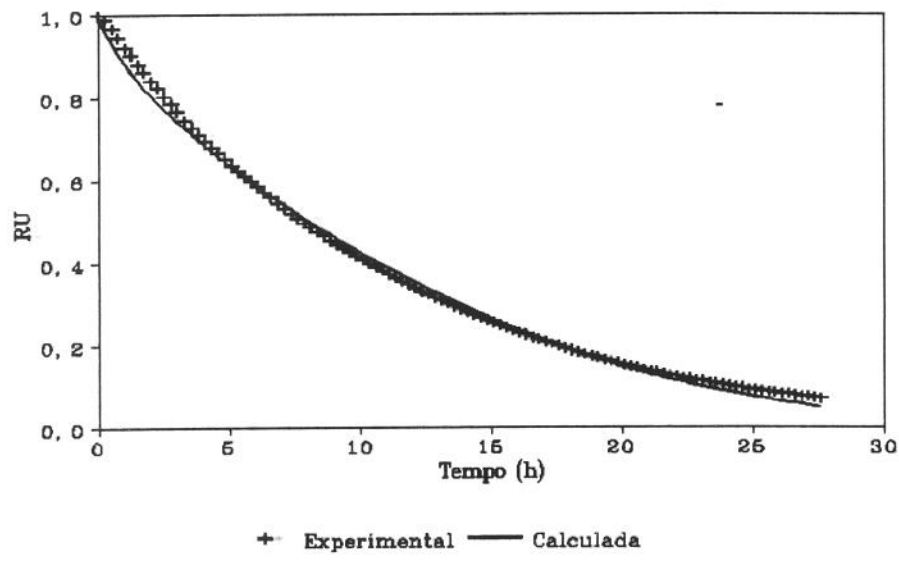


Figura 27 - Curva de secagem calculada pelo Modelo 4 para T=68,4°C e UR=7,3% ($D = 5,90 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ / $h_m = 4,99 \times 10^{-7} \text{ m/s}$).

5.4 Parâmetros D e h_m

Os valores do coeficiente de difusão e do coeficiente convectivo de transferência de massa obtidos para cada um dos modelos em todas as situações de secagem estudadas são apresentados na Tabela 9, acompanhados dos resultados da soma dos quadrados dos resíduos entre a correspondente razão de umidade calculada e os pontos experimentais.

Pode-se observar, a partir desses resultados que os maiores valores do coeficiente de difusão ocorreram no Modelo 2 e os menores no Modelo 3. Este fato indica que a presença da condição de contorno convectiva contribui para a obtenção de um valor mais alto do coeficiente de difusão ajustado, pois, ao se considerar o efeito convectivo, obtem-se menores gradientes teóricos de concentração de umidade entre a superfície e o centro do produto, para os mesmos valores experimentais da velocidade de secagem.

Comparando-se, agora, os valores obtidos para o coeficiente de difusão entre os modelos 1 e 2, observa-se que a inclusão da condição convectiva para a transferência de massa na superfície do material elevou os valores deste coeficiente para duas a quatro vezes acima, dependendo da temperatura. A tendência de elevação de D entre os modelos 3 e 4 é a mesma observada no caso dos modelos 1 e 2, ou seja, a inclusão da convecção resultou na obtenção de coeficientes de difusão 20 a 50% maiores no Modelo 4 do que no 3.

Por outro lado, a inclusão do encolhimento resulta em menores valores do coeficiente de difusão nos modelos 3 e 4, devido ao tratamento em separado dos fenômenos.

Com relação à qualidade do ajuste de cada modelo, dada pela soma dos quadrados dos resíduos média, pode-se notar uma tendência de melhores ajustes para as temperaturas mais baixas.

Os resultados para o coeficiente convectivo de transferência de massa apresentados na Tabela 9 demonstram que os valores provenientes do Modelo 4 são aproximadamente 2 a 4 vezes maiores que aqueles obtidos no Modelo 2.

Quanto à possibilidade de correlações entre o coeficiente convectivo de transferência de massa e as temperaturas do ar de secagem, observa-se, no caso do Modelo 2, até a temperatura de 60°C, que existe uma clara tendência de elevação dos mesmos à medida que se eleva a temperatura. No entanto, este comportamento não foi observado nos resultados do Modelo 4 e, portanto, optou-se por não investigá-lo em quaisquer dos casos.

Tabela 9 - Resultados do coeficiente de difusão, do coeficiente convectivo de transferência de massa e da soma dos quadrados dos resíduos obtidos em cada modelo, para todas as situações de secagem estudadas.

Modelo	Teste	T/UR	D (m ² /s)	h _m (m/s)	SQR
Modelo 1	1	29,9/35,7	2,01x10 ⁻¹⁰	-	1,474663
	2	39,9/19,3	2,82x10 ⁻¹⁰	-	0,653415
	3	49,9/19,2	4,57x10 ⁻¹⁰	-	0,488361
	4	60,2/19,9	5,83x10 ⁻¹⁰	-	0,557923
	5	60,5/10,7	6,26x10 ⁻¹⁰	-	0,364939
	6	68,4/ 7,3	6,98x10 ⁻¹⁰	-	0,553468
Modelo 2	1	29,9/35,7	4,95x10 ⁻¹⁰	9,19x10 ⁻⁸	0,039336
	2	39,9/19,3	5,59x10 ⁻¹⁰	1,66x10 ⁻⁷	0,005936
	3	49,9/19,2	1,86x10 ⁻⁹	1,79x10 ⁻⁷	0,005914
	4	60,2/19,9	1,85x10 ⁻⁹	2,48x10 ⁻⁷	0,011552
	5	60,5/10,7	1,59x10 ⁻⁹	3,16x10 ⁻⁷	0,004750
	6	68,4/ 7,3	2,97x10 ⁻⁹	2,64x10 ⁻⁷	0,001587
Modelo 3	1	29,9/35,7	1,25x10 ⁻¹⁰	-	0,194334
	2	39,9/19,3	1,66x10 ⁻¹⁰	-	0,144580
	3	49,9/19,2	2,74x10 ⁻¹⁰	-	0,094448
	4	60,2/19,9	3,25x10 ⁻¹⁰	-	0,155160
	5	60,5/10,7	3,62x10 ⁻¹⁰	-	0,077012
	6	68,4/ 7,3	3,92x10 ⁻¹⁰	-	0,140791
Modelo 4	1	29,9/35,7	1,48x10 ⁻¹⁰	3,19x10 ⁻⁷	0,099031
	2	39,9/19,3	1,85x10 ⁻¹⁰	6,96x10 ⁻⁷	0,120820
	3	49,9/19,2	3,31x10 ⁻¹⁰	6,94x10 ⁻⁷	0,056322
	4	60,2/19,9	4,56x10 ⁻¹⁰	4,96x10 ⁻⁷	0,074123
	5	60,5/10,7	4,62x10 ⁻¹⁰	7,50x10 ⁻⁷	0,037164
	6	68,4/ 7,3	5,90x10 ⁻¹⁰	4,99x10 ⁻⁷	0,029345

Observa-se ainda, que existe influência da umidade do ar de secagem sobre os parâmetros determinados, apesar de não enfocada neste trabalho.. O coeficiente convectivo apresenta uma tendência de diminuir com o aumento da umidade do ar, sendo esta influência mais evidente no Modelo 4. Também no Modelo 4, observa-se que o ajuste obtido prevê menores valores de h_m para as temperaturas mais altas, diferentemente do que ocorre no Modelo 2. É bom lembrar que este coeficiente reflete fenômenos de superfície que podem estar acontecendo no sólido e incorporados aos valores de h_m , como a presença da película que envolve a banana e a rugosidade da superfície devida ao encolhimento.

Por outro lado, pode-se observar a influência das condições do ar de secagem sobre o coeficiente de difusão. O efeito da temperatura, analisado através da equação de Arrhenius, apresentou as seguintes correlações para os coeficientes de difusão obtidos em cada modelo, seguidos dos valores de energia de ativação correspondentes.

Tabela 10 - Correlações de Arrhenius para o coeficiente de difusão em função da temperatura.

Modelo	Equação	r^2	E_a (KJ/kmol)
Modelo 1	$\ln(D) = -20,1625 - 67,3307*(1/T)$	0,9731	559,787
Modelo 2	$\ln(D) = -18,3710 - 98,0865*(1/T)$	0,8600	815,491
Modelo 3	$\ln(D) = -20,8185 - 61,7828*(1/T)$	0,9645	513,662
Modelo 4	$\ln(D) = -20,2973 - 74,5520*(1/T)$	0,9276	619,825

Na Tabela 10, D é expresso em m^2/s e T em K.

Note-se os bons resultados do coeficiente de correlação, r^2 , indicando a boa qualidade da representação matemática. Observe-se ainda, que o pior resultado foi obtido no Modelo 2, provavelmente devido à influência do fenômeno do encolhimento nos valores de D e h_m .

Os resultados da Tabela 9 permitem também verificar a influência da umidade do ar de secagem sobre o coeficiente de difusão, constatado nos valores obtidos para os testes 4 e 5; o teste 4, que corresponde à situação de umidade maior para a temperatura de 60°C, apresenta um coeficiente de difusão menor em todos os modelos, com exceção do Modelo 2. No caso do Modelo 4, ambos os valores estão muito próximos (1,3% de diferença). Lembrando que este modelo considera a condição convectiva na superfície, se o mecanismo

de difusão líquida for realmente dominante, o coeficiente de difusão não deveria depender fortemente da umidade do ar. Por outro lado, observa-se que o Modelo 2 apresenta resultados bastante diferentes entre os referidos testes, o que fortalece a tese levantada de que se pode obter um bom ajuste dos dados utilizando o Modelo 2, mas, ao não incluir o encolhimento, ele não contempla fenômenos importantes.

Os valores do coeficiente de difusão para banana reportados na literatura podem ser encontrados nos trabalhos de Mowlah et alli (1983) e de Nogueira (1991). Os primeiros obtiveram um valor de $1,11 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ para o coeficiente de difusão, partindo das equações de difusão líquida para placa plana aplicadas à secagem de fatias de banana a 60°C .

O modelo de cilindro infinito com coeficiente de difusão constante e condição de equilíbrio na superfície da fruta, utilizado por Nogueira (1991), para representar a secagem de bananas inteiras apresentou os seguintes resultados para o coeficiente de difusão: $2,78 \times 10^{-10}$ a $4,42 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$, para a temperatura de 50°C ; $2,63 \times 10^{-10}$ a $6,53 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ para 60°C e $4,22 \times 10^{-10}$ a $6,42 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ para 70°C . Acrescenta-se que nestes testes não houve controle da umidade relativa do ar de secagem. Pode-se observar que os máximos valores obtidos por Nogueira (1991) estão muito próximos daqueles determinados pelo Modelo 1 deste trabalho.

5.5 Perfil de razão de umidade no interior do produto

Nas Figuras 28 a 33 são apresentadas as distribuições da razão de umidade no interior da banana para diferentes estágios do processo de secagem. As análises foram feitas apenas para três condições estudadas, relativas à temperatura mais baixa, mais alta e intermediária do ar de secagem, em função da semelhança dos perfis entre as diferentes situações. Além disso, optou-se pela apresentação dos perfis obtidos nos modelos que revelaram os melhores resultados: Modelos 2 e 4. Somente para o Teste 6, a título de ilustração, serão apresentados os perfis derivados dos quatro modelos, referentes às Figuras 34 a 38.

Observando-se os perfis obtidos nestas figuras, nota-se, como era de se esperar pela condição de contorno de equilíbrio na superfície, que os modelos 1 e 3 são os que apresentam perfis mais pronunciados, com valores de razão de umidade bem mais altos na região central.

O Modelo 4, com condição convectiva na superfície e encolhimento acompanha a tendência apontada acima, embora com perfil mais suave. Com o auxílio deste modelo, pode-se determinar quanto tempo é necessário para que a umidade na superfície seja próxima do

do valor de equilíbrio, observando-se os gráficos 29, 31 e 33. Para um período de aproximadamente 1/5 do tempo total de secagem, tem-se um valor de M^* variando de 0,1 a 0,2 ($M^*=0$ é o de equilíbrio); pode-se, então, concluir que o equilíbrio na superfície é atingido assintoticamente com uma diminuição rápida de M^* neste ponto, nos momentos iniciais.

O Modelo 2 apresenta resultados com perfis muito próximos de um M^* constante, particularmente para temperaturas altas, sendo os valores de M^* na superfície superiores ao valor de equilíbrio. Não é este o resultado esperado num material cuja secagem seja controlada por difusão interna. Mais uma vez, ressalta-se que este modelo não representa bem os fenômenos básicos, embora apresente um bom ajuste.

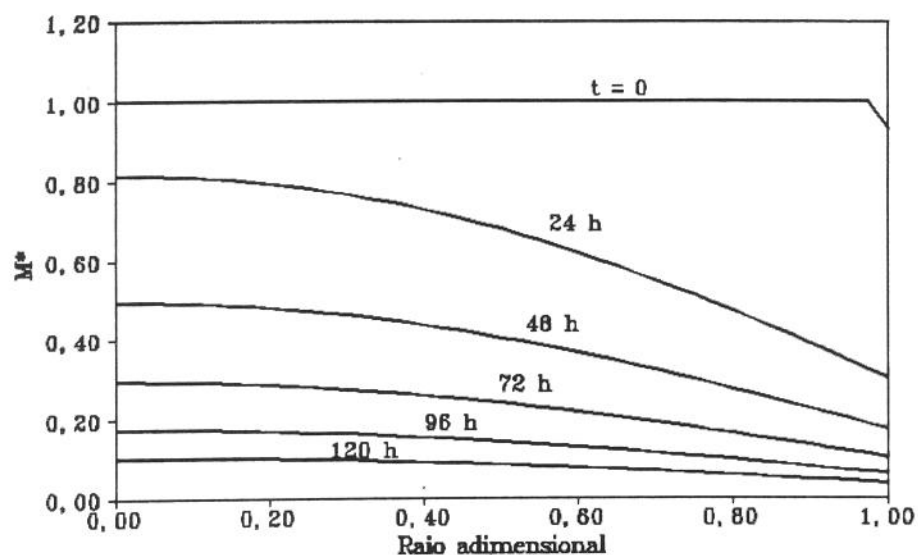


Figura 28 - Distribuição da razão de umidade no raio adimensional, calculada pelo Modelo 2 para $T=29,9^{\circ}\text{C}$ e $UR=35,7\%$.

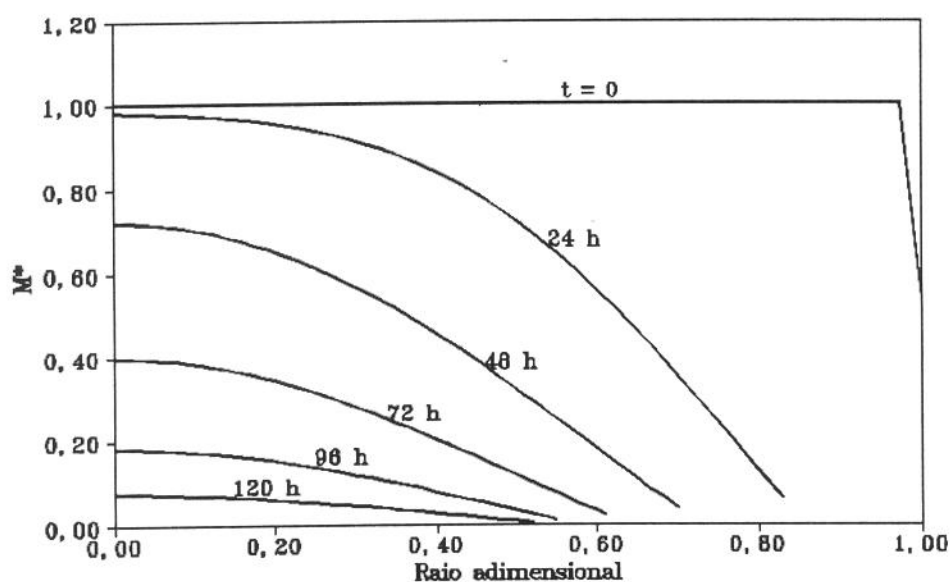


Figura 29 - Distribuição da razão de umidade no raio adimensional, calculada pelo Modelo 4, para $T=29,9^{\circ}\text{C}$ e $UR=35,7\%$.

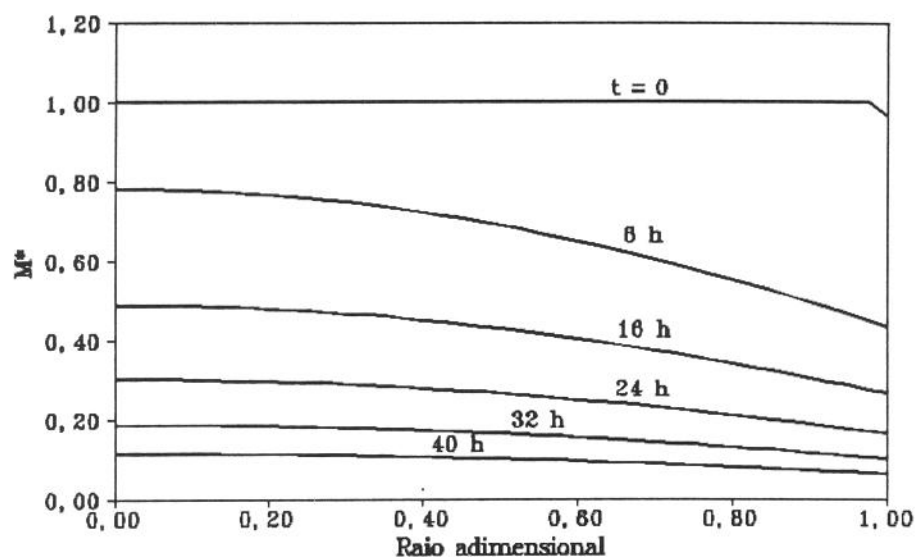


Figura 30 - Distribuição da razão de umidade no raio adimensional, calculada pelo Modelo 2, para $T=49,9^\circ\text{C}$ e $UR=19,2\%$.

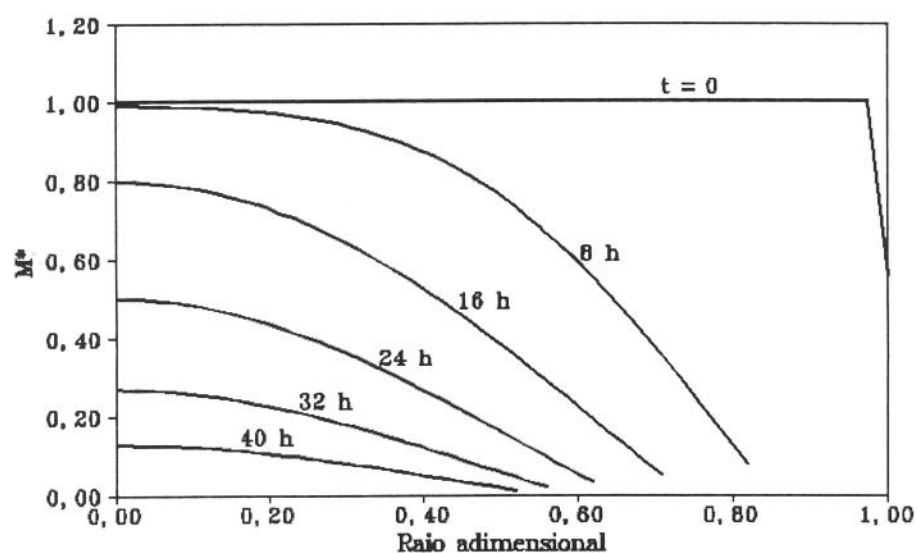


Figura 31 - Distribuição da razão de umidade no raio adimensional, calculada pelo Modelo 4 para $T=49,9^\circ\text{C}$ e $UR=19,2\%$.

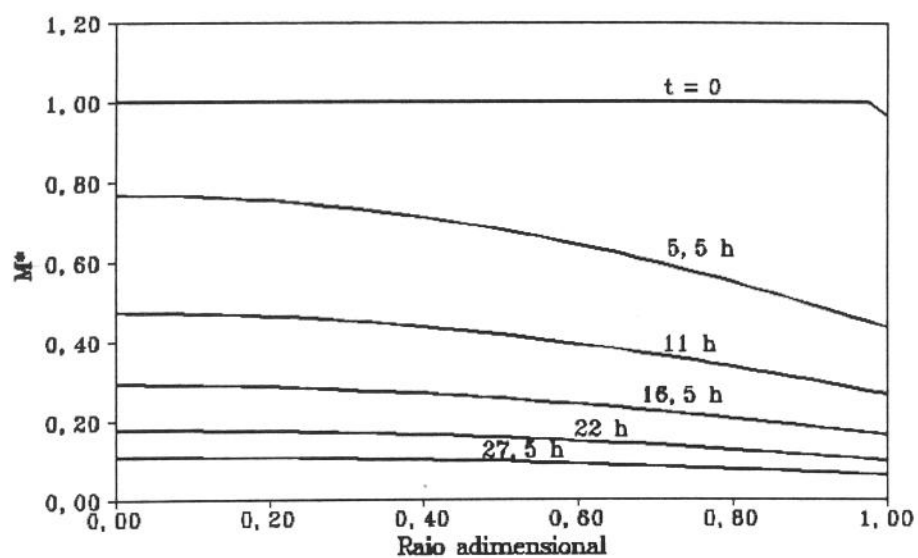


Figura 32 - Distribuição da razão de umidade no raio adimensional, calculada pelo Modelo 2 para $T=68,4^{\circ}\text{C}$ e $UR=7,30\%$.

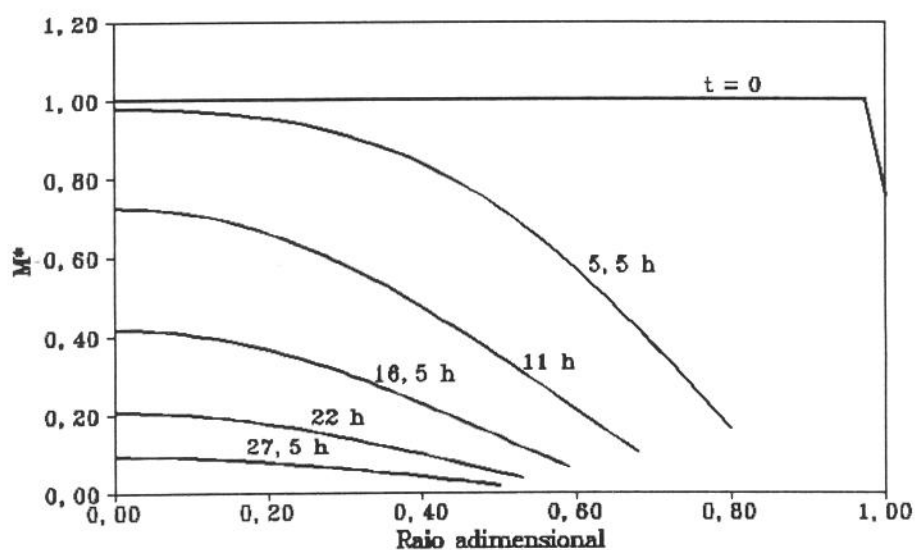


Figura 33 - Distribuição da razão de umidade no raio adimensional, calculada pelo Modelo 4, para $T=68,4^{\circ}\text{C}$ e $UR=7,30\%$.

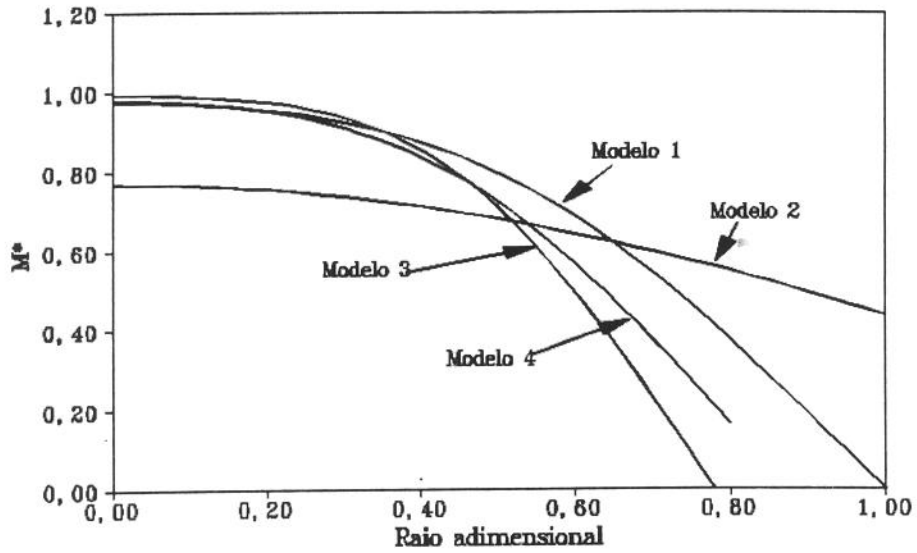


Figura 34 - Comparação entre os quatro modelos das curvas de distribuição da razão de umidade no raio adimensional, para $T=68,4^{\circ}\text{C}$, $UR=7,30\%$ e $t=5,5$ horas.

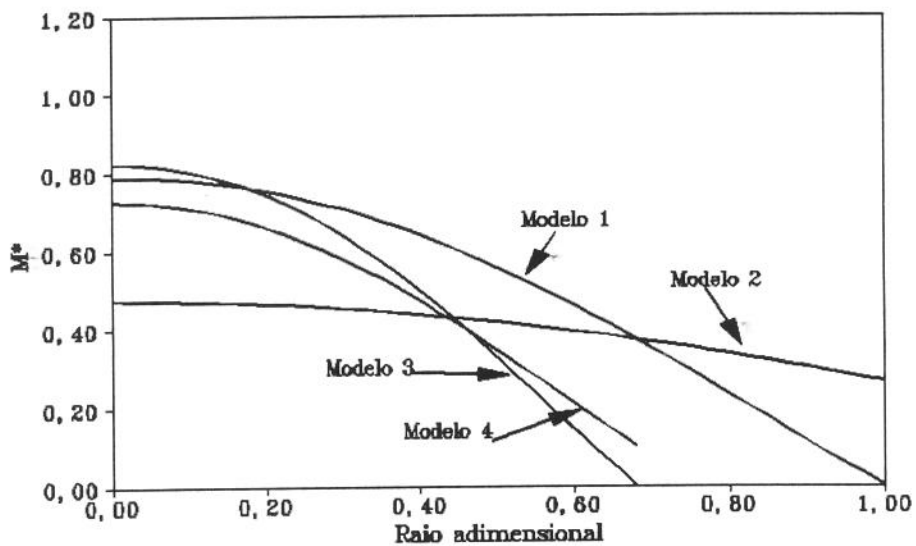


Figura 35 - Comparação entre os quatro modelos das curvas de distribuição da razão de umidade no raio adimensional, para $T=68,4^{\circ}\text{C}$, $UR=7,30\%$ e $t=11$ horas.

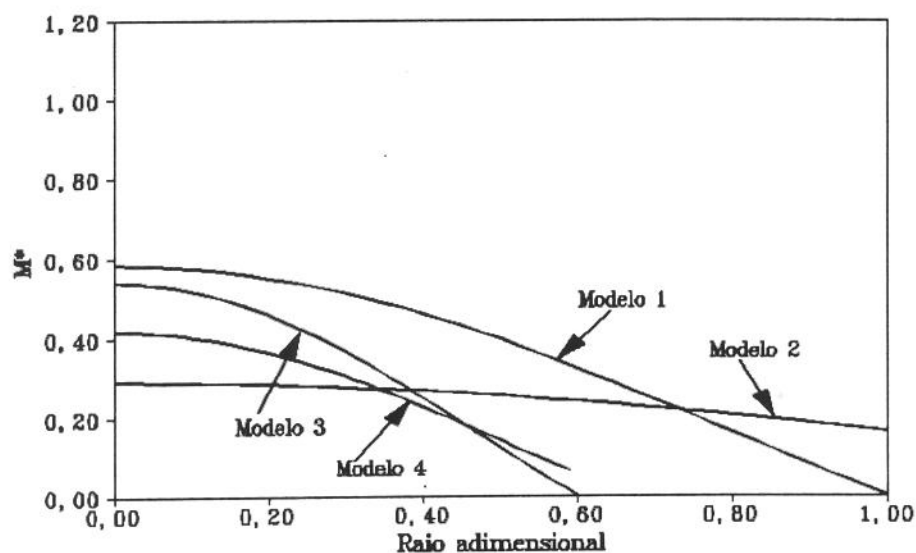


Figura 36 - Comparação entre os quatro modelos das curvas de distribuição da razão de umidade no raio adimensional, para $T=68,4^{\circ}\text{C}$, $UR=7,30\%$ e $t=16,5$ horas.

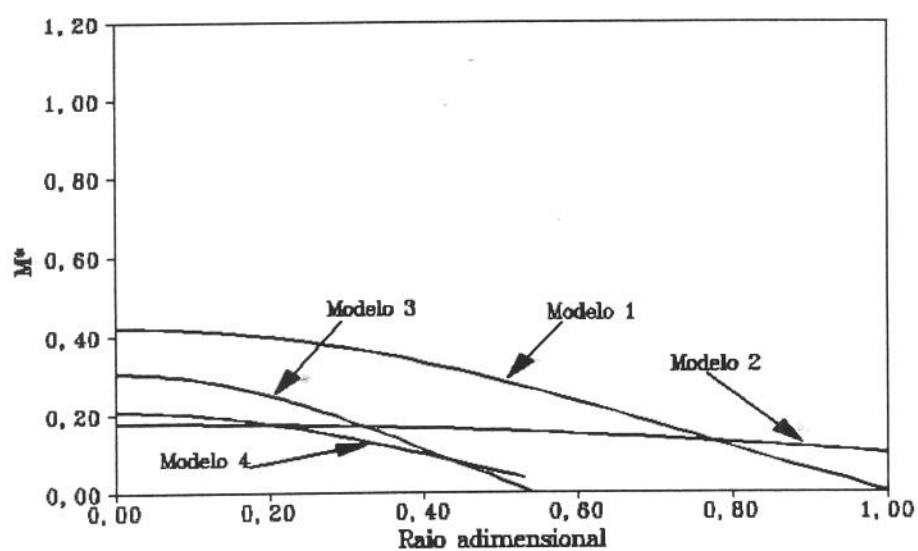


Figura 37 - Comparação entre os quatro modelos das curvas de distribuição da razão de umidade no raio adimensional, para $T=68,4^{\circ}\text{C}$, $UR=7,30\%$ e $t=22$ horas.

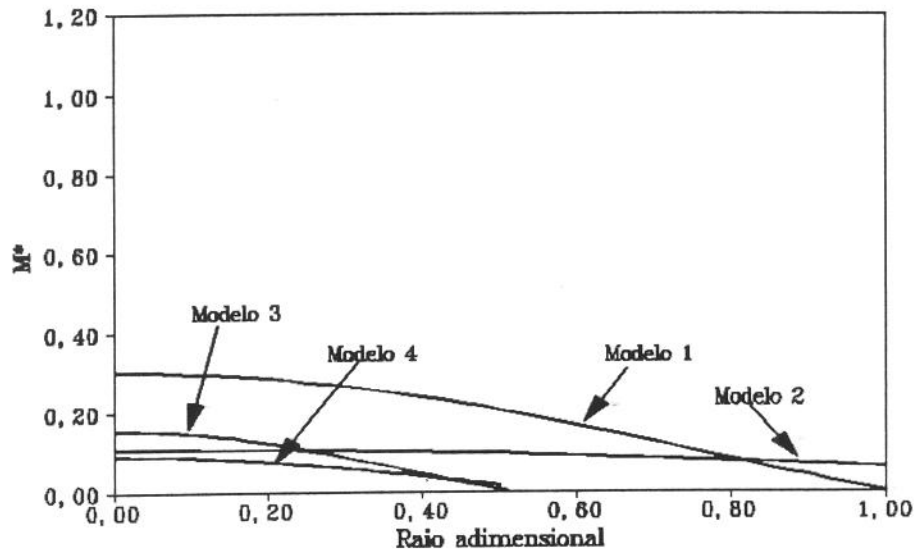


Figura 38 - Comparação entre os quatro modelos das curvas de distribuição da razão de umidade no raio adimensional, para $T=68,4^{\circ}\text{C}$, $UR=7,30\%$ e $t=27,5$ horas.

Capítulo 6

Conclusões e sugestões para trabalhos futuros

6.1 Conclusões

O sistema experimental desenvolvido para o estudo da cinética de secagem apresentou bom desempenho com relação ao controle dos parâmetros do agente de secagem (temperatura e umidade relativa) e ao registro automático dos dados experimentais, podendo ser utilizado para pesquisas com outros produtos agrícolas.

Tendo em vista as faixas de operação, a aplicação deste sistema pode ainda ser ampliada para a obtenção de isotermas de sorção e determinação de propriedades térmicas e de transporte nos processos de secagem de produtos agrícolas.

O método numérico explícito de diferenças finitas aplicado à solução do sistema de equações diferenciais referente ao modelo difusivo para geometria cilíndrica apresenta bom resultado para uma malha de 40 subdivisões no raio representativo da banana e passo de tempo de 0,001 hora.

O modelo de difusão líquida com coeficiente de difusão constante, condição de equilíbrio na superfície e sem a consideração de encolhimento não se mostrou completamente adequado para descrever o processo de secagem de bananas.

O ajuste a dois parâmetros (coeficiente de difusão e coeficiente convectivo) no caso do modelo difusivo com coeficiente de difusão constante, condição de contorno convectiva e sem a consideração de encolhimento, reproduz muito bem os dados experimentais, mas não apresenta consistência com a descrição física do processo.

A banana encolhe cerca de 43 a 47% de seu diâmetro original, durante o processo de secagem, nas condições estudadas..

A inclusão somente do encolhimento no modelo com coeficiente de difusão constante

e condição de equilíbrio na superfície resultou em melhoria significativa do ajuste dos valores calculados aos dados experimentais, principalmente nos períodos finais da secagem e pequena melhoria nos períodos iniciais.

O efeito convectivo do ar de secagem, quando incluído no modelo com encolhimento e coeficiente de difusão constante melhora visivelmente o ajuste dos valores teóricos aos dados experimentais nos períodos iniciais de secagem.

A consideração do encolhimento no modelo possibilita maior credibilidade aos valores obtidos do coeficiente de difusão e do coeficiente convectivo e resulta na obtenção de menores valores do coeficiente de difusão. Em contrapartida, a inclusão do efeito convectivo eleva os valores deste coeficiente, com influência mais marcante que os decréscimos resultantes do encolhimento.

A influência da temperatura do ar de secagem sobre o coeficiente de difusão, analisada através da equação de Arrhenius, apresentou resultados significativos, com coeficientes de correlação na faixa de 0,86 a 0,97.

Os valores do coeficiente de difusão no modelo que considera condição de equilíbrio na superfície e encolhimento desprezível variam entre $2,01 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ ($T=29,9^\circ\text{C}$ e $UR=35,7\%$) a $6,98 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ ($T=68,4^\circ\text{C}$ e $UR=7,3\%$). No modelo com coeficiente de difusão constante, condição de contorno convectiva e sem a inclusão do encolhimento, esta faixa de variação compreende os valores de $4,95 \times 10^{-10}$ a $2,97 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$. Já nos modelos que incluem o encolhimento, o coeficiente de difusão varia entre $1,25 \times 10^{-10}$ a $3,92 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$, quando se considera condição de equilíbrio na superfície e entre $1,48 \times 10^{-10}$ a $5,90 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$, com condição de contorno convectiva.

6.2 Sugestões para trabalhos futuros

Como resultado deste trabalho, são feitas as seguintes recomendações:

- Investigar o encolhimento não-uniforme ao longo do raio em função do teor de umidade local no interior do produto considerando que o fenômeno ocorre primeiramente nas camadas superficiais do material para depois se manifestar em pontos próximos ao centro.
- Pesquisar outras alternativas para o cálculo do coeficiente de transferência de massa na superfície do material considerando as especificidades do produto biológico.
- Testar a recomendação de Sereno e Medeiros (1990) para a abordagem do

encolhimento considerando o produto da densidade aparente do sólido pela difusividade (ρD) constante (ao invés de somente a difusividade constante) e investigando o comportamento da densidade aparente em função do teor de umidade.

X- Investigar a hipótese de variação do coeficiente de difusão com o teor de umidade local no interior do produto.

- Este trabalho forneceu subsídios para estudos de simulação de um secador tipo túnel para frutas, podendo-se indicar a utilização do Modelo 3 para esta finalidade, levando-se em conta que trata-se de um modelo simples e que reproduziu muito bem os dados experimentais, com redução dos tempos de computação.

Referências Bibliográficas

- ADAMBOUNOU, T. L.; CASTAIGNE, F. Partial dehydration of bananas by osmosis and determination of isotherms sorption curves. Lebensm.-Wissensch. u.-Technol. **16** (4) 230-234, 1983.
- AJIBOLA, O. O.; ABONYI, B. I.; ONAYEMI, O. The effect of some processing variables on the dehydration of pregelled yam pieces. J. Food Sci. and Technol., India **25** (3) 117-120, 1988.
- ALZAMORA, S. M.; CHIRIFE, J.; VIOLAZ, P. A simplified model for predicting the temperatures of foods during air dehydration. J. Food Technol. **14** (4) 369-380, 1979.
- AMARO, A. A. Aspectos econômicos e comerciais da bananicultura. Anais do Primeiro Simpósio Brasileiro sobre Bananicultura, FCAVJ, Jaboticabal, SP, 1984. p. 19-45.
- ANDRADE, J. S.; CARVALHO, V. D.; CASTRO-GOMEZ, R.; CAL-VIDAL, J. Cinética de desidratação ambiental de banana-prata (Musa Sp) em diversas fases de amadurecimento. Revista Brasileira de Tecnol. **11** (1) 23-33, 1980.
- AREGBA, W.; JOMAA, W.; PUIGALLI, J. R. Une approche du séchage de matériaux fortement déformables. Revue Phys. Appl. **25** (11) 1161-1175, 1990.
- ASME Research Committee on Fluid Meters Fluid meters - their theory and application. 6th ed., 1971.
- BALABAN, M. Effect of volume change in foods on the temperature and moisture content predictions of simultaneous heat and moisture transfer models. J. Food Process Eng. **12** (1) 67-88, 1989.
- BANCO DO BRASIL - CACEX Exportação: Mercadorias, países, portos. 1970-1987.
- BATISTA, M. C. A. As vantagens da banana passa, a fruta seca que não precisamos importar. Nutrinews **64**, 1990.
- BENEDICT, R. P. Fundamentals of temperature, pressure and flow measurement. John Willey and Sons, Inc., New York. 3rd ed., 1984.
- BERNA, A.; ROSSELO, C.; MULET, A.; CATALA, P. Food dehydration with solar energy.

- I. Description of pilot dryer and exploratory tests with carrots. Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos **29** (2) 241-250, 1988.
- BERNA, A.; ROSSELO, C.; CANELLAS, J.; MULET, A. Drying kinetics of apricots. In: SPIESS, W. E. L.; SHUBERT, H. ed. Engineering and Food. v. 1, Elsevier Appl. Sci., 1990.
- BERTHET, D.; BAKHOUYA, A.; BOUZON, J.; VERGNAUD, J. M. Drying of polymers. Modeling with diffusion-evaporation and shrinkage. In: MUJUMDAR, A. S. ed. Drying'92. Elsevier Sci. Publishers B. V. 1992.
- BHARDWAJ, J. C.; LAL KAUSHAL, B. B. A study on drying behaviour of rings from different apple cultivars of Himachal Pradesh. J. Food Sci. and Technol., India **27** (3) 144-199, 1990.
- BOLIN, H. R.; HUXSOLL, C. C.; SALUNKHE, D. K. Fruit drying by solar energy. Confructa **25** (3/4) 147-160, 1980.
- BOWREY, R. G.; BUCKLE, K. A.; HAMEY, I.; PAVENAYOTIN, P. Use of solar energy for banana drying. Food Technol. in Australia **32** (6) 290-291, 1980.
- BREKKE, J. E.; ALLEN, L. Dehydrated bananas. Food Technol. **21** 1391-1395, 1967.
- CANTO, W. L.; SILVEIRA, E. T. F.; LEITE, R. S. S. F.; MAIA, M. L.; GASPARINO, J., F.; YATSUYANAGY, K. Processamento e mercado de frutas secas. Estudos Econômicos - Alimentos Processados **23**, 1987. 208 p.
- CASTRO, F. A. Processamento de banana passa. Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial, Fortaleza, 1981. 47 p.
- CHU, S. T.; HUSTRULID, A. Numerical solution of diffusion equations. Trans. ASAE **11** 705-708, 1968.
- CONWAY, J.; CASTAIGNE, F.; PICARD, G.; VOVAN, X. Mass transfer considerations in the osmotic dehydration of apples. Canadian Inst. Food Sci. and Technol. J. **16** (1) 25-29, 1983.
- CRANK, J. The mathematics of diffusion. Clarendon Press, Oxford. 2nd ed., 1975.
- FIOREZE, R. The intermittent drying of agricultural crops with particular references to energy requirements. PhD Thesis. Cranfield Institute of Technology, Silsoe College, UK, 1986.
- FONSECA, H.; NOGUEIRA, J. N.; ANNICHIO, A. V. K. O.; Influência da interação do pré-aquecimento e da remoção da película externa na elaboração de passas de banana.

Anais da Escola Superior de Agronomia Luiz de Queiroz 31 555-569, 1974a.

FONSECA, H.; NOGUEIRA, J. N.; ANNICHIO, A. V. K. O. Influência do pH da solução de metabissulfito de potássio e da remoção da película externa na elaboração da banana passa. Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz 31 571-589, 1974b.

FONSECA, H. Influência da embalagem e do período de armazenamento no teor residual de SO_2 em banana passa. Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz 33 791-804, 1976.

FORNELL, A.; BIMBENET, J. J.; ALMIN, Y. Experimental study and modelization for air drying of vegetable products. Lebensm.-Wissensch. u.-Technol. 13 (2) 96-100, 1980.

FORTES, M.; OKOS, M. R. Drying theories: their bases and limitations as applied to foods and grains. In: MUJUMDAR, A. S. Advances in drying. v. 1, Hemisphere Pub. Co., Washington, p. 117-154, 1980.

FORTES, M. Um estudo fundamental das equações de transporte de massa e energia em meios capilares porosos. Tese para concurso de Professor Titular. Departamento de Engenharia Térmica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG. 1982.

FUSCO, A. J.; AVANZA, J. R.; AGUERRE, R. J.; GABITTO, J. F. Diffusional model for drying with volume change. Drying Technol. 9 (2) 397-417, 1991.

GENTRY, J. P.; MILLER, M. W.; CLAYPOOL, L. L. Engineering and fruit quality aspects of prune dehydration in parallel- and counter-flow tunnels. Food Technol. 19 1427-1431, 1965.

GIMENO, A. V.; FITO, M. P.; VIDAL, B. D.; ARANDA, C. V. Dehydration of peaches (Prunus persica L Batsch) II. Study of kinetics of hot-air-drying. Alimentos 13 (1) 13-18, 1988.

GOSWAMI, D. Y.; LAVANIA, A.; SHAHBAZI, A.; MASOOD, M. Analysis of a geodesic dome solar fruit dryer. Drying Technol. 9 (3) 677-691, 1991.

HAENDLER, L. Produits de transformation de la banane. Fruits 21 (7) 329-342, 1966.

HAGHIGHI, K.; IRUDAYARA, J. J.; STROSHINE, R. L.; SOKHANSANJ, S. Grain kernel drying simulation using the finite element method. Trans. ASAE 33 (6) 1957-1965, 1990.

HOMERO, F. Banana passa. Rev. Bras. de Bebidas e Alimentos 53 4, 1971.

- HUBINGER, M. D. Modelagem, simulação e avaliação energética e exergetica de secadores a leito deslizante. Tese de Doutorado. Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP. 1994. 175 p.
- HUSAIN, A.; CHEN, C.S.; CLAYTON, J. T. Simultaneous heat and mass diffusion in biological materials. J. Agric. Eng. Res. 18 343-354, 1973.
- IGBEKA, J. C. Simulation of moisture movement during drying a starchy food product - cassava. J. Food Technol. 17 (1) 27-36, 1982.
- ISLAM, M. N.; FLINK, J. M. Dehydration of potato. I. Air and solar drying at low air velocities. J. Food Technol. 17 (3) 373-385, 1982.
- JAYAS, D. S.; CENKOWSKI, S.; PABIS, S.; MUIR, W. E. Review of thin layer drying and wetting equations. Drying Technol. 9 (3) 551-588, 1991.
- KALRA, S. K.; BHARDWAJ, K. C. Use of simple solar dehydrator for drying fruit and vegetable products. J. Food Sci. and Technol., India 18 (1) 23-26, 1981.
- KECHAOU, N.; ROQUES M. A. A variable diffusivity model for drying of highly deformable materials. In: MUJUMDAR, A. S. ed. Drying'89. Elsevier Sci. Publishers B. V., 1989.
- KETELAARS, A. A. J.; JOMAA, W.; PUIGALLI, J. R.; COUMANS, W. J. Drying shrinkage and stress. In: MUJUMDAR, A. S. ed. Drying'92. Elsevier Sci. Publishers B. V., 1992.
- KHURDIYA, D. S. Studies on dehydration of ber (Ziziphus mauritiana Lam) fruits. J. Food Sci. and Technol., India 17 (3) 127-130, 1980.
- KUMAR, A.; BLAISDELL, J. L.; HERUM, F. L. Generalized analytical model for moisture diffusion in a composite cylindrical body. Trans. ASAE 25 (3) 752-758, 1982.
- LAGUERRE, J. C.; LEBERT, A. Drying curves of foodstuffs under variable conditions: modelling and interpretation. In: SPIESS, W. E. L.; SCHUBERT, H. ed. Engineering and Food. v. 1. Elsevier Appl. Sci. 1990.
- LAMBERG, I. Studies of water transport phenomena during potato drying J. Food Process Eng. 10 (4) 285-299, 1989.
- LEBERT, A.; BIMBENET, J. J. Drying curves - a general process for their representation. Comunicação Pessoal.
- LEVI, A.; RAMIREZ-MARTINEZ, J. R.; PADUA, H. Influence of heat and sulphur dioxide treatments on some quality characteristics of intermediate-moisture banana. J. Food

- Technol. 15 (5) 557-566, 1980.
- LOMAURO, C. J.; BAKSHI, A. S. Finite element analysis of moisture diffusion in stored foods. J. Food Sci. 50 392-396, 1985.
- MAROULIS, Z. B.; KIRANOUDIS, C. T.; MARINOS-KOURIS, D. Simultaneous estimation of heat and mass transfer coefficients in externally controlled drying. J. Food Eng. 14 (3) 241-255, 1991.
- MATTEA, M. URBICAIN, M. J.; ROTSTEIN, E. Effective thermal conductivity of cellular tissues during drying: prediction by a computer assisted model. J. Food Sci. 54 (1) 194-197, 204, 1989.
- MENDONÇA, S. L. R. Estudo da influência da temperatura e espessura do produto no processamento de passas de abacaxi. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, paraíba, 1991.
- MIRANDA, K. E. S. Estudo de parâmetros que influenciam na elaboração de uva-passa. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, Paraíba, 1991.
- MISRA, R. N.; YOUNG, J. H. Numerical solution of simultaneous diffusion and shrinkage during soybean drying. Trans. ASAE 23 (5) 1277-1282, 1980.
- MOWLAH, G.; TAKANO, K.; KAMOI, I.; OBARA, T. Water transport mechanism and some aspects of quality changes during air dehydration of bananas. Lebensm.-Wiss. u-Technol. 16 (2) 103-107, 1983.
- MULET, A.; ROSSELLO, C.; PINAGA, F.; CARBONELL, J. V.; BERNA, A. Mechanism and kinetics of carrot drying with heated air. Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos 23 (3) 369-377, 1983.
- MULET, A.; BERNA, A.; ROSSELLO, C. Drying of carrots. I. Drying models. Drying Technol. 7 (3) 537-557, 1989.
- NOGUEIRA, R. I. Processo de secagem de banana (Musa acuminata subgrupo Cavendish cultivar Nanica): parâmetros ótimos na obtenção de banana-passa. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, SP, 1991.
- NUR, A. M. Processing and properties of osmo-air dehydrated bananas. Dissertation Abstracts International B 37 (6) 2749, 1976.
- ORTIZ, A. N.; COOKE, R. D.; QUIROS, R. M. The processing of a date-like caramel from

- cashew apple. Tropical Sci. **24** (1) 29-38, 1982.
- PARTI, M.; DUGMANICS, I. Diffusion coefficient for corn drying. Trans. ASAE **33** (5) 1652-1656, 1990.
- RAHMAN, M. S.; LAMB, J. Osmotic dehydration of pineapple. J. Food Sci. and Technol., India **27** (3) 150-152, 1990.
- RAMASWAMY, H. S.; LO, K. V. Simplified mass transfer relationships for diffusion controlled air dehydration of regular solids. Canadian Agricultural Eng. **25** (1) 143-148, 1983.
- RATTANAPANT, O.; LEBERT, A.; LAGUERRE, J. C.; BIMBENET, J. J. Simulation of deep bed drying of particles. Proc. Sixth International Drying Symposium - IDS'88. Versailles, France. OP. 565-572, 1988.
- RATTANAPANT, O.; LEBERT, A.; BIMBENET, J. J. Simulation of deep bed drying of food particles. In: SPIESS, W. E. L.; SCHUBERT, H. ed. Engineering and Food. v. 1. Elsevier Appl. Sci. p. 579-591, 1990.
- RESOLUÇÃO 12/78 (12/7 frutas secas ou dessecadas) Comissão Nacional de Normas e Padrões para Alimentos (CNNPA) In: Compêndio da Legislação de Alimentos: consolidação das normas e padrões de alimentos. São Paulo, Associação Brasileira das Indústrias de Alimentação (ABIA). v. 1/A, p. 7.5 (78), 1985.
- RIVA, M.; MASI, P. Osmodehydration of grapes. In: SPIESS, W. E. L.; SCHUBERT, H. ed. Engineering and Food v.1. Elsevier Appl. Sci. p. 711-721, 1990.
- SAMPAIO, F. Bananada, banana-passa, banana em pó. Chácaras e Quintais **112** (6) 679-681, 1965.
- SERENO, A. M.; MEDEIROS, G. L. Simplified model for the prediction of drying rates for foods. J. Food Eng. **12** (1) 1-11, 1990.
- SHARMA, V. K.; SHARMA, S.; GARG, H. P. Mathematical modelling and experimental evaluation of a natural convection type solar cabinet dryer. Energy Convers. Manage **31** (1) 65-73, 1991.
- SILVA, M. A.; NEBRA, S. A. The calculation of moisture distribution in a drying process. Proceedings 6th Intern. Drying Symp. Versailles, France, OP: 145-150, 1988.
- SILVEIRA, E. T. F.; TRAVAGLINI, D. A.; AGUIRRE, J. M.; MORI, E. E. M., CAMPOS, S. D. S.; FIGUEIREDO, I. B. Secagem de ameixa cultivar Carmesim. I. Estudos preliminares. Boletim do Instituto de Tecnologia de Alimentos **59** 117-125, 1978.

- SILVEIRA, E. T. F.; TRAVAGLINI, D. A.; MORI, E. E. M.; AGUIRRE, J. M.; FERREIRA, V. L. P.; FIGUEIREDO, I. B. Aptidão das cultivares de caqui Taubaté, Giombo e Ramaforte quanto ao processamento na forma seca. Boletim do Inst. de Tecnol. de Alimentos 19 (4) 423-432, 1982.
- SILVEIRA, E. T. F.; TRAVAGLINI, D. A.; FIGUEIREDO, I. B.; AGUIRRE, J. M.; VITTI, P.; PIZZINATO, A.; CAMPOS, S. D. S.; SHIROSE, I. Aptidão quanto ao processamento na forma de passa das cultivares de uva A Dona, Aurora, Paulistinha e Maria. Boletim do Inst. de Tecnol. de Alimentos 20 (1) 55-69, 1983.
- SIMMONDS, N. W. Bananas. Imperial College of Trinidad, Longmans Green. 1959. 466p.
- STEFFE, J. F.; SINGH, R. P. Diffusivity of starchy endosperm and bran of fresh and rewetted rice. J. Food Sci. 45 (2) 356-361, 1980.
- STEFFE, J. F.; SINGH, R. P. Liquid diffusivity of rough rice components. Trans. ASAE 23 (3) 767-774, 782, 1980b.
- STRUMILLO, C.; KUDRA, T. Drying kinetics. In: Drying: principles, applications and design. New York, Gordon and Breach Sci. Publ., c1986 v.3, p.68-98.
- SUAREZ, C.; VIOLLAZ, P. E.; CHIRIFE, J. Diffusional analysis of air drying of grain sorghum. J. Food Technol. 15 (5) 523-531, 1980.
- SUAREZ, C.; VIOLLAZ, P. E. Shrinkage effect on drying behaviour of potato slabs. J. Food Eng. 13 (2) 103-114, 1991.
- TOLABA, M. P.; AGUERRE, R. J.; SUAREZ, C. Shape characterization for diffusional analysis of corn drying. Drying Technol. 7 (2) 205-217, 1989.
- TOLABA, M. P.; SUAREZ, C.; VIOLLAZ, P. E. Diffusion coefficient estimation for shelled corn. Lebensm.-Wissensch. u-Technol. 24 (4) 303-306, 1991.
- TRAVAGLINI, D. A. Desidratação de frutas. Casa da Agricultura 8 (1) 15-19, 1986.
- VAGENAS, G. K.; MARINOS-KOURIS, D. Design and optimization of an industrial dryer for sultana raisins. Drying Technol. 9 (2) 439-461, 1991a.
- VAGENAS, G. K.; MARINOS-KOURIS, D. Drying kinetics of apricots. Drying Technol. 9 (3) 735-752, 1991b.
- VAGENAS, G. K.; MARINOS-KOURIS, D. Finite element simulation of drying of agricultural products with volumetric changes. Appl. Math. Modelling 15 (9) 475-482, 1991c.
- VIDEV, K.; TANCHEV, S.; SHARMA, R. C.; JOSHI, V. K. Effect of sugar syrup

- concentration and temperature on rate of osmotic dehydration of apples. J. Food Sci. and Technol., India 27 (5) 307-308, 1990.
- VON LOESECKE, H. W. Drying and dehydration of foods. Reinhold Publishing Corp., New York. 2nd ed., 1945.
- WEITZ, D. A.; LARA, M. A.; PIACENTINI, R. D.; FELDMAN, S. Dipping treatment effects on simulated prune solar drying. Canadian Inst. Food Sci. and Technol. J. 22 (2) 133-136, 1989.
- YAPAR, S.; HELVACI, S. S.; PEKER, S. Drying behaviour of mushroom slices. Drying Technol. 8 (1) 77-99, 1990.
- YUSHENG, Z.; POULSEN, K. P. Diffusion in potato drying. J. Food Eng. 7 (4) 249-262, 1988.

Apêndice A

Programa BASIC para leitura automática dos dados de peso

```

10 ON KEY(10) GOSUB 410: KEY(10) ON
20 ON ERROR GOTO 380
30 CLS: LOCATE 3,10
40 INPUT "NOME DO ARQUIVO (Max of 8 caracteres): ",FILENAME$
50 PRINT FILENAME$
60 IF LEN (FILENAME$) > 8 THEN BEEP : LOCATE 10,10 : PRINT "O ARQUIVO
    NAO PODE TER MAIS QUE 8 CARACTERES" : GOTO 40
70 FILENAME$ = FILENAME$ + ".DAT"
80 OPEN FILENAME$ FOR APPEND AS #2
90 CLS:LOCATE 5,10
100 INPUT "INTERVALO DE LEITURA (0-60 MIN): ",INTERVAL
110 IF INTERVAL > 59 THEN BEEP: LOCATE 10,10: PRINT "INTERVALO DEVE SER
    MENOR QUE 60 MINUTOS": GOTO 90
120 LOCATE 11,10 : INPUT "NUMERO DE LEITURAS (1 ->1000):",ANSWER$
130 NUMBER = VAL (ANSWER$)
140 IF NUMBER <1 OR NUMBER >1000 THEN BEEP : GOTO 120
150 TIMESTART = VAL(MID$(TIME$,4,2))
160 TIMEDIFF = 0
170 WHILE TIMEDIFF < INTERVAL
180 T$ = TIME$
190 TIMENOW = VAL(MID$(T$,4,2))
200 IF TIMENOW < TIMESTART THEN TIMENOW = TIMENOW + 60
210 TIMEDIFF = TIMENOW - TIMESTART
220 E$ = INKEY$
230 IF LEN(E$) <> 2 THEN GOTO 260
240 EXAM$ = RIGHT$(E$,1)
250 IF ASC(EXAM$) = 94 THEN GOTO 440 'Sai do "loop" e encerra.
260 WEND
270 GOSUB 290          'Leitura da balanca digital
280 GOTO 150 'Repete leitura no intervalo estabelecido
290 OPEN "COM1:2400,E,7,1,RS,CS,DS,CD" AS #1 LEN=128 'Abre a porta serial
300 FOR I = 1 TO NUMBER ' Faz n leituras (n = NUMBER)
310 INPUT #1, A$          'Leitura de dados da balanca

```

```
320 MASS = VAL(MID$(A$,4,9)) 'Extrai massa da amostra em gramos
330 PRINT TIME$,A$,MASS
340 WRITE #2, TIME$,A$
350 NEXT I
360 CLOSE #1 'Fecha Arquivo #1 -Porta Serial COM1
370 RETURN
380 PRINT "ERRO NUMERO ";ERR;" NA LINHA NUMERO ";ERL
390 PRINT "Fim da sessao"
400 CLOSE:END
410 RETURN 420
420 CLOSE #2 'fecha o arquivo #2 - arquivo ASCII
430 END
440 CLOSE #2 : CLOSE #1
450 CLS
460 LOCATE 10,20 : PRINT "EXECUCAO DO PROGRAMA TERMINADA"
470 LOCATE 12,20 : PRINT "PARA REINICIAR O PROGRAMA, F2"
480 END
```

Apêndice B

Método explícito de diferenças finitas

Seja

$$\xi = f(r, t)$$

então as derivadas numéricas de primeira e segunda ordem de ξ com relação a r , no ponto m , pelo método explícito de diferenças finitas podem ser representadas como:

$$\left[\frac{\partial \xi}{\partial r} \right]_m = \frac{1}{2\epsilon} [\xi_{m+1,n} - \xi_{m-1,n}]$$

$$\left[\frac{\partial^2 \xi}{\partial r^2} \right]_m = \frac{1}{\epsilon^2} [\xi_{m+1,n} - 2\xi_{m,n} + \xi_{m-1,n}]$$

onde:

$$r = m\epsilon, \quad m = 0, 1, 2, \dots$$

$$t = n\tau, \quad n = 0, 1, 2, \dots$$

A derivada de ξ no tempo será:

$$\left[\frac{\partial \xi}{\partial t} \right]_{t=n\tau} = \frac{\xi_{m,n+1} - \xi_{m,n}}{\tau}$$

Nos contornos, $r=0$ e $r=M\epsilon$, pode-se utilizar as expressões indicadas por Carslaw e Jaegger (1) e reproduzidas a seguir:

$$\epsilon \left[\frac{\partial \xi}{\partial r} \right]_{m=M} = \frac{1}{2} [-3\xi_{M,n+1} + 4\xi_{M-1,n+1} - \xi_{M-2,n+1}]$$

$$\epsilon \left[\frac{\partial \xi}{\partial r} \right]_{m=0} = \frac{1}{2} [-3\xi_{0,n+1} + 4\xi_{1,n+1} - \xi_{2,n+1}]$$

Para facilitar o acompanhamento dos cálculos, apresenta-se, a seguir as relações utilizadas na simplificação das equações numéricas.

Nos casos sem encolhimento:

$$r^* = \frac{r}{R_0} = \frac{i\Delta r}{L\Delta r} = \frac{i}{L}$$

$$\Delta r = \frac{R_0}{L}$$

$$\Delta r^* = \frac{\Delta r}{R_0} = \frac{R_0}{L} \frac{1}{R_0} = \frac{1}{L}$$

Nos casos com encolhimento:

$$r^* = \frac{r}{R_0} = i\Delta r^* = \frac{i}{L} [A + \overline{BM^*}(t)]$$

$$\Delta r^* = \frac{\Delta r}{R_0} = \frac{R}{R_0 L} = \frac{A + \overline{BM^*}}{L}$$

(1) CARSLAW, H.S.; JAEGER, J.C. Conduction of heat in solids. Clarendon Press, Oxford, 1959 2nd ed. pg. 468-469.

Apêndice C

Programas TURBO PASCAL 7.0 desenvolvidos para a obtenção da solução numérica dos modelos.

Apêndice C1 - Programa para o Modelo 1.

{Este programa ajusta o coeficiente de difusão para o modelo mais simples (condição de contorno constante na superfície), usando o método dos mínimos quadrados. Imprime na tela teor de umidade média estimado, umidade real e residuo.

OBS:

1. Depois de ajustado o coeficiente de difusão, para gerar arquivos de dados ASC, reativar as linhas 208/209.
2. Alterar o nome do arquivo a ser gerado (linha 85), do arquivo de leitura (linha 102) e dos dados de entrada (linhas 51, 54, 55, 56 e 57) para cada teste.

DESCRICAO DAS VARIÁVEIS

- X : numero total de pontos experimentais.
- L : numero total de pontos no raio = 40.
- Delta : passo real de tempo = $1e-3$ [h].
- J : contador de passo de tempo.
- I : contador de passo no raio.
- M : contador de intervalos de tempo experimentais.
- N : contador numerico de intervalos de 15 minutos (conta 250 J's).
- UR : umidade relativa do ar de secagem do ar de secagem referente a cada teste.
- Temperatura : temperatura do ar de secagem referente a cada teste.
- Tempo : tempo total de secagem referente a cada teste.
- DT : passo adimensional de tempo.
- Difusa : coeficiente de difusão [m^2/h].
- Raio_zero : raio inicial da banana [m].
- SSR : soma numerica dos quadrados dos residuos no passo M.
- SQRes : soma total numerica dos quadrados dos residuos.
- SUM : soma numerica dos valores ponderados da umidade inicial no raio para o calculo da media.
- SOMA : soma numerica dos valores ponderados da umidade no raio, para o passo N.
- CondIni : teor de umidade inicial em cada ponto do raio [adimensional].

- UmiOld : perfil de umidade no raio correspondente a iteracao do passo de tempo anterior [adimensional].
- UmiNew : teor de umidade no raio no passo de tempo atual [adimensional].
- IniPond : media acumulativa numerica do teor de umidade entre dois pontos do raio para o tempo $t=0$ [adimensional].
- UmiPond : media acumulativa numerica do teor de umidade entre dois pontos do raio para o tempo t [adimensional].
- UmiMed : media numerica do teor de umidade no tempo t [adimensional].
- t : tempo experimental de secagem [h].
- UmiReal : teor de umidade experimental no tempo t [adimensional].
- Residuo : diferenca entre o valor de UmiReal e UmiMed no tempo t .
- entra : arquivo de entrada dos dados experimentais contendo UmiReal e t .
- saida : arquivo de dados gerado pelo modelo, contendo : M , t , UmiReal, UmiMed, Residuo e SQRes.}

{ \$N+ }

program Testa_Coeficiente_Difusao;

uses Crt;

const X=488; {linha 51}

L = 40;

Delta = 1e-3;

Temperatura = 30; {linha 54}

UR = 30; {linha 55}

Tempo = 121.85; {linha 56}

Raio_zero = 0.01613; {linha 57}

var J,I,M,

N : Integer;

DEL,

DT,

Difusa,

TAL,

SSR,

SQRes,

SUM,

SOMA,

SOMADT : Real;

CondIni : array[0..50] of Real;

Contorno: array[0..1500] of Real;

UmiOld : array[0..50] of Real;

UmiNew : array[0..1500] of Real;

IniPond : array[1..50] of Real;

UmiPond : array[1..50] of Real;

UmiMed : array[0..1500] of Real;

Umidade : array[0..30,0..100] of Real;

t : array[1..X] of Real;

UmiReal : array[1..X] of Real;


```
Residuo : array[1..X] of Real;
entra,saida : text;
```

```
procedure Imprime_titulo;
begin
Assign(saida,'A:\num3030\cte3030.dat');      {linha 85}
Rewrite(saida);
Writeln(saida,'***Resultados do modelo difusivo numerico, considerando');
Writeln(saida,' condicao de equilibrio na superficie da banana***');Writeln(saida);
Writeln(saida,' :10,'*** T = ',Temperatura:2,' :3,'UR = ',UR:2,'
','***');Writeln(saida);Writeln(saida);
Writeln(saida,'Tempo de Secagem = ',Tempo:5:2);
Writeln(saida,'Coeficiente de Difusao = ',Difusa:10:9);
Writeln(saida,'Raio Inicial = ',Raio_zero:6:5);
Writeln(saida);Writeln(saida);
Writeln(saida,' N',' :2,' t(h) ',' ' REAL ',' ' CALC. ',' ' RES. ');
Writeln(saida,'-----');
Writeln(saida);
close(saida);
end;
```

```
procedure Le_Dados_Calc_Residuo;
begin
Assign(entra,'A:U3030.asc');      {linha 102}
Reset(entra);
SSR := 0;
For M := 1 to X do
begin
Read(entra,UmiReal[M],t[M]);readln(entra);
Residuo[M] := UmiReal[M] - UmiMed[M-1];
SSR := SSR + SQR(Residuo[M]);
Writeln(M,t[M],UmiMed[M-1],UmiReal[M],Residuo[M]);
end;
close(entra);
end;
```

```
procedure Cond_Ini;
begin
J := 0;
For I := 0 to (L-1) do
CondIni[I]:=1;
CondIni[L]:=0;
end;
```

```
procedure Calc_umidade;
begin
J := J+1;
For I := 1 to (L-1) do
```

```

    UmiNew[I] := UmiOld[I] + (sqr(L)*DT)*((1+2*I)*UmiOld[I+1]/(2*I)
    + (2*I-1)*UmiOld[I-1]/(2*I) - 2*UmiOld[I]);
    UmiNew[0] := (4*UmiNew[1] - UmiNew[2])/3;
    UmiNew[L] := 0;
    For I := 0 to L do
        UmiOld[I] := UmiNew[I];
    end;

```

```

procedure Calc_media;
begin
    I := 1;
    while I < L do
    begin
        SUM := SUM + 4*I*UmiNew[I];
        I := I + 2;
    end;
    I := 2;
    while I < (L-1) do
    begin
        SUM := SUM + 2*I*UmiNew[I];
        I := I + 2;
    end;
    SUM := 2*(SUM + UmiNew[L]*L)/(3*sqr(L));
end;

```

```

procedure Imprime;
begin
    Append(saida);
    For M := 1 to X do
    begin
        Writeln(saida,M:3,'      ',t[M]:5:4,'      ',UmiReal[M]:5:4,'      ',UmiMed[M-1]:5:4,'
',Residuo[M]:5:4);
    end;
    Writeln(saida);
    Writeln(saida,'Soma dos quadrados dos residuos = ',SQRes);
    close(saida);
end;

```

```

begin
    ClrScr;
    Write('Difusa');Writeln;
    Readln(Difusa);
    Writeln(Tempo:10:2,' ',4,Difusa:10:6,' ',8,Raio_zero:8:5,' ',4);Writeln;
    Writeln;
    Cond_Ini;
    DT := (Difusa/sqr(Raio_zero))*Delta;

```

```

TAL := (Difusa/sqr(Raio_zero))*Tempo;
J := 0;
N := 0;
SUM := 0;
For I := 0 to (L) do
    UmiNew[I] := CondIni[I];
Calc_Media;
UmiMed[0] := SUM;
For I := 0 to L do
begin
    UmiOld[I] := CondIni[I];
end;
N := 1;
Repeat
    Calc_Umidade;
    If J = N*250 then
    begin
        SUM := 0;
        Calc_Media;
        UmiMed[N] := SUM;
        N := N+1;
    end;
until (N >= Tempo/(250*DELTA));
SSR := 0;
Le_Dados_Calc_Residuo;
SQRes := SSR;
Writeln;
Writeln('Soma_quadrados_residuos = ',SQRes);Writeln;
{Imprime_titulo;}           {linha 208}
{Imprime;}                  {linha 209}
end.

```

Apêndice C2 - Programa para o Modelo 2

{Este programa ajusta o coeficiente de transferencia de massa e o coeficiente de difusao, desprezando-se o encolhimento usando o metodo dos minimos quadrados. Imprime na tela valores de umidade media experimental e estimada pelo modelo, bem como, residuos e soma dos quadrados dos residuos.

OBS:

1. Após ajustado o hm e o D , para gerar um arquivo ASCII com os resultados, reative as linhas 206/207.

2. Alterar o nome do arquivo a ser gerado (linha 90), do arquivo de leitura (linha 108) e do número de pontos experimentais (linha 55), temperatura (58), UR (59), tempo (60) e raio zero (61) para cada teste.

DESCRICAO DAS VARIÁVEIS

- X : numero total de pontos experimentais.
- L : numero total de pontos no raio = 40.
- Delta : passo real de tempo = $1e-3$ [h].
- J : contador de passo de tempo.
- I : contador de passo no raio.
- M : contador de intervalos de tempo experimentais.
- N : contador numerico de intervalos de 15 minutos (conta 250 J's).
- UR : umidade relativa do ar de secagem do ar de secagem referente a cada teste.
- Temperatura : temperatura do ar de secagem referente a cada teste.
- Tempo : tempo total de secagem referente a cada teste.
- DT : passo adimensional de tempo.
- Difusa : coeficiente de difusao [m^2/h].
- Raio_zero : raio inicial da banana [m].
- hm : coeficiente convectivo de transferencia de massa [m/h].
- Biot_massa : adimensional de transferencia de massa

$$= (hm * Raio_zero) / Difusa$$
- SSR : soma numerica dos quadrados dos residuos no passo M.
- SQRes : soma total numerica dos quadrados dos residuos.
- SUM : soma numerica dos valores ponderados da umidade inicial no raio para o calculo da media.
- SOMA : soma numerica dos valores ponderados da umidade no raio, para o passo N.
- CondIni : teor de umidade inicial em cada ponto do raio [adimensional].
- UmiOld : perfil de umidade no raio correspondente a iteracao do passo de tempo anterior [adimensional].
- UmiNew : teor de umidade no raio no passo de tempo atual [adimensional].
- IniPond : media acumulativa numerica do teor de umidade entre dois pontos do raio para o tempo $t=0$ [adimensional].
- UmiPond : media acumulativa numerica do teor de umidade entre dois pontos do raio para o tempo t [adimensional].

- UmiMed : media numerica do teor de umidade no tempo t [adimensional].
- t : tempo experimental de secagem [h].
- UmiReal : teor de umidade experimental no tempo t [adimensional].
- Residuo : diferenca entre o valor de UmiReal e UmiMed no tempo t.
- entra : arquivo de entrada dos dados experimentais contendo UmiReal e t.
- saida : arquivo de dados gerado pelo modelo, contendo : M, t, UmiReal, UmiMed, Residuo e SQRes.}

```

{$N+}
program Testa_Coeficiente_Difusao;
uses Crt;
const X=111;           {linha 55}
      L = 40;
      Delta = 1e-3;
      Temperatura = 70;   {linha 58}
      UR = 10;           {linha 59}
      Tempo = 27.6;       {linha 60}
      Raio_zero = 0.01545; {linha 61}
var  J,I,M,
      N : Integer;
      DEL,
      DT,
      Difusa,
      TAL,
      hm,
      Biot_massa,
      SSR,
      SQRes,
      SUM,
      SOMA,
      SOMADT : Double; {Real;}
      CondIni : array[0..50] of Double; {Real;}
      UmiOld : array[0..50] of Double; {Real;}
      UmiNew : array[0..1500] of Double; {Real;}
      IniPond : array[1..50] of Double; {Real;}
      UmiPond : array[1..50] of Double; {Real;}
      UmiMed : array[0..1500] of Double; {Real;}
      t : array[1..X] of Double; {Real;}
      UmiReal : array[1..X] of Double; {Real;}
      Residuo : array[1..X] of Double; {Real;}
      entra,saida : text;

procedure Imprime_titulo;
begin
Assign(saida,'a:\NUM7010\CC7010.dat'); {linha 90}
Rewrite(saida);

```

```

Writeln(saida,'***Resultados do modelo difusivo numerico, considerando');
Writeln(saida,'  conveccao na superficie da banana, sem encolhimento***');Writeln(saida);
Writeln(saida,'  ':10,'***  T  =  ',Temperatura:2,'  ':3,'UR  =  ',UR:2,'
','***');Writeln(saida);Writeln(saida);
Writeln(saida,'Tempo  de Secagem = ',Tempo:5:2);
Writeln(saida,'Coeficiente  de Difusao = ',Difusa:10:9);
Writeln(saida,'Raio  Inicial = ',Raio_zero:6:5);
Writeln(saida,'Coeficiente  Convectivo de TM = ',hm:7:6);
Writeln(saida);Writeln(saida);
Writeln(saida,'  N,'  ':2,'  t(h)  '  '  '  REAL  '  '  '  CALC.'  '  '  RES.  ');
Writeln(saida,'-----');
Writeln(saida);
close(saida);
end;

```

```

procedure Le_Dados_Calc_Residuo;
begin
Assign(entra,'U7010.asc');           {linha 108}
Reset(entra);
SSR := 0;
  For M := 1 to X do
    begin
      Read(entra,UmiReal[M],t[M]);readln(entra);
      Residuo[M] := UmiReal[M] - UmiMed[M-1];
      SSR := SSR + SQR(Residuo[M]);
      Writeln(M:3,'  ',t[M],',  ',UmiMed[M-1]:7:6,'  ',UmiReal[M]:7:6,'  ',Residuo[M]:7:6);
    end;
close(entra);
end;

```

```

procedure Cond_Ini;
begin
  J := 0;
  For I := 0 to (L-1) do
    CondIni[I]:=1;
  CondIni[L]:=L*CondIni[L-1]/(Biot_massa + L);
end;

```

```

procedure Calc_umidade;
begin
  J := J+1;
  For I := 1 to (L-1) do
    UmiNew[I] := UmiOld[I] + (sqr(L)*DT)*((1+2*I)*UmiOld[I+1]/(2*I)
    + (2*I-1)*UmiOld[I-1]/(2*I) - 2*UmiOld[I]);
  UmiNew[0] := (4*UmiNew[1] - UmiNew[2])/3;
  UmiNew[L] := L*(4*UmiNew[L-1] - UmiNew[L-2])/(2*Biot_massa + 3*L);
  For I := 0 to L do
    UmiOld[I] := UmiNew[I];

```

```
end;
```

```
procedure Calc_media;
```

```
begin
```

```
I := 1;
```

```
while I < L do
```

```
begin
```

```
    SUM := SUM + 4*I*UmiNew[I];
```

```
    I := I + 2;
```

```
end;
```

```
I := 2;
```

```
while I < (L-1) do
```

```
begin
```

```
    SUM := SUM + 2*I*UmiNew[I];
```

```
    I := I + 2;
```

```
end;
```

```
SUM := 2*(SUM + UmiNew[L]*L)/(3*sqr(L));
```

```
end;
```

```
procedure Imprime;
```

```
begin
```

```
Append(saida);
```

```
For M := 1 to X do
```

```
begin
```

```
    Writeln(saida,M:3,'      ',t[M]:5:4,'      ',UmiReal[M]:5:4,'      ',UmiMed[M-1]:5:4,'  
'Residuo[M]:5:4);
```

```
end;
```

```
Writeln(saida);
```

```
Writeln(saida,'Soma dos quadrados dos residuos = ',SQRes);
```

```
close(saida);
```

```
end;
```

```
begin
```

```
ClrScr;
```

```
Write('Difusa','  ':8,'hm');Writeln;
```

```
Readln(Difusa,hm);
```

```
Writeln(Tempo:10:2,'  ':4,Difusa:10:6,'  ':8,Raio_zero:8:5,'  ':4,hm:10:6,'  ');Writeln;
```

```
Writeln;
```

```
Biot_massa := hm*Raio_zero/Difusa;
```

```
Cond_Ini;
```

```
DT := (Difusa/sqr(Raio_zero))*Delta;
```

```
TAL := (Difusa/sqr(Raio_zero))*Tempo;
```

```
J := 0;
```

```
N := 0;
```

```

SUM := 0;
For I := 0 to L do
  UmiNew[I] := CondIni[I];
Calc_Media;
UmiMed[0] := SUM;
For I := 0 to L do
begin
  UmiOld[I] := CondIni[I];
end;
N := 1;
Repeat
  Calc_Umidade;
  If J = N*250 then
  begin
    SUM := 0;
    Calc_Media;
    UmiMed[N] := SUM;
    N := N+1;
  end;
until (N >= Tempo/(250*DELTA));
SSR := 0;
Le_Dados_Calc_Residuo;
SQRes := SSR;
Writeln;
{Imprime_titulo;}           {linha 206}
{Imprime;}                   {linha 207}
Writeln('Soma_quadrados_residuos = ',SQRes);Writeln;
end.

```


Apêndice C3 - Programa para o Modelo 3

{Este programa ajusta o coeficiente de difusão para o modelo com raio variável (encolhimento) e condição de contorno constante (M_e) na superfície, usando o método dos mínimos quadrados. Imprime na tela valores de umidade média experimental e estimada pelo modelo, bem como, resíduos e soma dos quadrados dos resíduos

OBS:

1. Até obter o melhor D , elimine as linhas 221/222 deste programa e os resultados aparecerão apenas na tela. Após obtido, recoloca as linhas para imprimir os resultados num arquivo ASCII.

2. Alterar o nome do arquivo a ser gerado (linha 99), do arquivo de leitura (linha 117) e do número de pontos experimentais (linha 59), temperatura (62), UR (63), tempo (64) e raio zero (65), de acordo com os dados de cada teste.

3. Alterar os valores dos coeficientes A (66) e B (67) da equação do raio.

DESCRICAO DAS VARIÁVEIS

- X : número total de pontos experimentais.
- L : número total de pontos no raio = 40.
- Δt : passo real de tempo = $1e-3$ [h].
- J : contador de passo de tempo.
- I : contador de passo no raio.
- M : contador de intervalos de tempo experimentais.
- N : contador numérico de intervalos de 15 minutos (conta 250 J's).
- A : coeficiente angular da equação do raio.
- B : coeficiente linear da equação do raio.
- UR : umidade relativa do ar de secagem do ar de secagem referente a cada teste.
- Temperatura : temperatura do ar de secagem referente a cada teste.
- Tempo : tempo total de secagem referente a cada teste.
- Δt : passo adimensional de tempo.
- D : coeficiente de difusão [m^2/h].
- R_0 : raio inicial da banana [m].
- R : raio da banana que varia com teor de umidade médio [adimensional].
- ΔR : passo no raio = R/L [adimensional].
- SSR : soma numérica dos quadrados dos resíduos no passo M .
- SQRes : soma total numérica dos quadrados dos resíduos.
- SUM : soma numérica dos valores ponderados da umidade inicial no raio para o cálculo da média.
- SOMA : soma numérica dos valores ponderados da umidade no raio, para o passo N .
- CondIni : teor de umidade inicial em cada ponto do raio [adimensional].
- UmiOld : perfil de umidade no raio correspondente a iteração do passo de tempo anterior [adimensional].
- UmiNew : teor de umidade no raio no passo de tempo atual [adimensional].

- IniPond : media acumulativa numerica do teor de umidade entre dois pontos do raio para o tempo $t=0$ [adimensional].
- UmiPond : media acumulativa numerica do teor de umidade entre dois pontos do raio para o tempo t [adimensional].
- UmiMed : media numerica do teor de umidade no tempo t [adimensional].
- t : tempo experimental de secagem [h].
- UmiReal : teor de umidade experimental no tempo t [adimensional].
- Residuo : diferenca entre o valor de UmiReal e UmiMed no tempo t .
- entra : arquivo de entrada dos dados experimentais contendo UmiReal e t .
- saida : arquivo de dados gerado pelo modelo, contendo : M , t , UmiReal, UmiMed, Residuo e SQRes.}

{ \$N+ }

program Testa_Coeficiente_Difusao;

uses Crt;

const X=488; {X deve ser mudado a cada teste} {linha 59}

 L=40;

 Delta=1e-3;

 Temperatura = 30; {linha 62}

 UR = 30; {linha 63}

 Tempo = 121.85; {linha 64}

 Raio_zero = 0.01613; {linha 65}

 A = 0.4981; {linha 66}

 B = 0.5979; {linha 67}

var J,I,M,

 N : Integer;

 DEL,

 DT,

 Difusa,

 Raio,

 DR,

 TAL,

 hm,

 Biot_massa,

 SSR,

 SQRes,

 SUM,

 SOMA,

 SOMADT : Real;

 CondIni : array[0..50] of Real;

 Contorno: array[0..1500] of Real;

 UmiOld : array[0..50] of Real;

 UmiNew : array[0..1500] of Real;

 IniPond : array[1..50] of Real;

 UmiPond : array[1..50] of Real;

 UmiMed : array[0..1500] of Real;

```

    Umidade : array[0..30,0..100] of Real;
    t       : array[1..X] of Real;
    UmiReal : array[1..X] of Real;
    Residuo : array[1..X] of Real;
    entra,saida : text;

procedure Imprime_titulo;
begin
    Assign(saida,'a:\num3030\E3030.dat');           {linha 99}
    Rewrite(saida);
    Writeln(saida,'***Resultados do modelo difusivo numerico, considerando');
    Writeln(saida,' encolhimento e equilibrio na superficie da banana***');Writeln(saida);
    Writeln(saida,' :10,'*** T = ',Temperatura:2,' :3,'UR = ',UR:2,'
    ','***');Writeln(saida);Writeln(saida);
    Writeln(saida,'Tempo de Secagem = ',Tempo:5:2);
    Writeln(saida,'Coeficiente de Difusao = ',Difusa:11:10);
    Writeln(saida,'Raio Inicial = ',Raio_zero:6:5);
    Writeln(saida,'Coeficiente Convectivo de TM = ',hm:7:6);
    Writeln(saida);Writeln(saida);
    Writeln(saida,' N,' :2,' t(h) ',' ' REAL ',' ' CALC.',' ' RES. ');
    Writeln(saida,'-----');
    Writeln(saida);
    close(saida);
end;

procedure Le_Dados_Calc_Residuo;
begin
    Assign(entra,'a:U3030.asc');                     {linha 117}
    Reset(entra);
    SSR := 0;
    For M := 1 to X do
        begin
            Read(entra,UmiReal[M],t[M]);readln(entra);
            Residuo[M] := UmiReal[M] - UmiMed[M-1];
            SSR := SSR + SQR(Residuo[M]);
            Writeln(M:3,' ',t[M]:5:4,' ',UmiReal[M]:5:4,' ',UmiMed[M-1]:5:4,' ',Residuo[M]:5:4);
        end;
    close(entra);
end;

procedure Cond_Ini;
begin
    J := 0;
    For I := 0 to (L-1) do
        CondIni[I] := 1;
    CondIni[L] := 0;
end;

```

```
procedure Calc_umidade;
```

```
begin
```

```
  J := J+1;
```

```
  For I := 1 to (L-1) do
```

```
    UmiNew[I] := UmiOld[I] + (DT/(2*sqr(DR)))*((1+2*I)*UmiOld[I+1]/I  
    + (2*I-1)*UmiOld[I-1]/I - 4*UmiOld[I]);
```

```
  UmiNew[0] := (4*UmiNew[1] - UmiNew[2])/3;
```

```
  UmiNew[L] := 0;
```

```
  For I := 0 to L do
```

```
    UmiOld[I] := UmiNew[I];
```

```
end;
```

```
procedure Calc_media;
```

```
begin
```

```
I := 1;
```

```
while I < L do
```

```
begin
```

```
  SUM := SUM + 4*I*UmiNew[I];
```

```
  I := I + 2;
```

```
end;
```

```
I := 2;
```

```
while I < (L-1) do
```

```
begin
```

```
  SUM := SUM + 2*I*UmiNew[I];
```

```
  I := I + 2;
```

```
end;
```

```
SUM := 2*sqr(DR)*(SUM + UmiNew[L]*L)/3;
```

```
end;
```

```
procedure Imprime;
```

```
begin
```

```
Append(saida);
```

```
  For M := 1 to X do
```

```
    begin
```

```
      Writeln(saida,M:3,'      ',t[M]:5:4,'      ',UmiReal[M]:5:4,'      ',UmiMed[M-1]:5:4,'  
,Residuo[M]:5:4);
```

```
    end;
```

```
  Writeln(saida);
```

```
  Writeln(saida,'Soma dos quadrados dos residuos = ',SQRes);
```

```
close(saida);
```

```
end;
```

```
begin
```

```
ClrScr;
```

```
Write('Difusa');
```

```
Writeln;
```

```

Readln(Difusa);
Writeln(Tempo:10:2,'  ':4,Difusa:10:9,'  ':8,Raio_zero:8:5);Writeln;
Writeln;
Cond_Ini;
DT := (Difusa/sqr(Raio_zero))*Delta;
TAL := (Difusa/sqr(Raio_zero))*Tempo;
J := 0;
N := 0;
SUM := 0;
DR := 1/L;

For I := 0 to L do
  UmiNew[I] := CondIni[I];
Calc_Media;
UmiMed[0] := SUM;
For I := 0 to L do
begin
  UmiOld[I] := CondIni[I];
end;
Raio := A + B*UmiMed[0];
DR := Raio/L;
N := 1;
Repeat
  Calc_Umidade;
  If J = N*250 then
  begin
    SUM := 0;
    Calc_media;
    Raio := A + B*UmiMed[N];
    UmiMed[N] := SUM/sqr(Raio);
    DR := Raio/L;
    N := N+1;
  end;
until (N >= Tempo/(250*DELTA));
SSR := 0;
Le_Dados_Calc_Residuo;
SQRes := SSR;
Writeln;
{Imprime_titulo;}           {linha 221}
{Imprime;}                   {linha 222}
Writeln('Soma_quadrados_residuos = ',SQRes);Writeln;
end.

```

Apêndice C4 - Programa para o Modelo 4

{Este programa ajusta o coeficiente de difusão para o modelo com raio variável (encolhimento) e condição de contorno convectiva (hm) na superfície, usando o método dos mínimos quadrados. Imprime na tela valores de umidade média experimental e estimada pelo modelo, bem como, resíduos e soma dos quadrados dos resíduos.

OBS:

1. Até obter o melhor D e o melhor hm, elimine as linhas 220/221 deste programa e os resultados aparecerão apenas na tela. Após obtidos, recoloque as linhas para imprimir os resultados num arquivo ASCII.
2. Para cada teste, alterar: valor de X (linha 61), de temperatura (64), de UR (65), de tempo (66), de raio zero (67) e os nomes dos arquivos de saída (96) e de leitura (114).
3. Alterar os valores dos coeficientes A (68) e B (69) da equação do raio.

DESCRICAO DAS VARIÁVEIS

- X : número total de pontos experimentais.
- L : número total de pontos no raio = 40.
- Delta : passo real de tempo = $1e-3$ [h].
- J : contador de passo de tempo.
- I : contador de passo no raio.
- M : contador de intervalos de tempo experimentais.
- N : contador numérico de intervalos de 15 minutos (conta 250 J's).
- A : coeficiente angular da equação do raio.
- B : coeficiente linear da equação do raio.
- UR : umidade relativa do ar de secagem do ar de secagem referente a cada teste.
- Temperatura : temperatura do ar de secagem referente a cada teste.
- Tempo : tempo total de secagem referente a cada teste.
- DT : passo adimensional de tempo.
- Difusa : coeficiente de difusão [m^2/h].
- Raio_zero : raio inicial da banana [m].
- Raio : raio da banana que varia com teor de umidade médio [adimensional].
- DR : passo no raio = $Raio/L$ [adimensional].
- hm : coeficiente convectivo de transferência de massa [m/h].
- Biot_massa : adimensional de transferência de massa
 $= (hm * Difusa) / Raio_zero$.
- SSR : soma numérica dos quadrados dos resíduos no passo M.
- SQRes : soma total numérica dos quadrados dos resíduos.
- SUM : soma numérica dos valores ponderados da umidade inicial no raio para o cálculo da média.
- SOMA : soma numérica dos valores ponderados da umidade no raio, para o passo N.
- CondIni : teor de umidade inicial em cada ponto do raio [adimensional].
- UmiOld : perfil de umidade no raio correspondente a iteração do passo de tempo anterior [adimensional].

- UmiNew : teor de umidade no raio no passo de tempo atual [adimensional].
- IniPond : media acumulativa numerica do teor de umidade entre dois pontos do raio para o tempo $t=0$ [adimensional].
- UmiPond : media acumulativa numerica do teor de umidade entre dois pontos do raio para o tempo t [adimensional].
- UmiMed : media numerica do teor de umidade no tempo t [adimensional].
- t : tempo experimental de secagem [h].
- UmiReal : teor de umidade experimental no tempo t [adimensional].
- Residuo : diferenca entre o valor de UmiReal e UmiMed no tempo t .
- entra : arquivo de entrada dos dados experimentais contendo UmiReal e t .
- saida : arquivo de dados gerado pelo modelo, contendo : M , t , UmiReal, UmiMed, Residuo e SQRes.}

```

{$N+}
program Testa_Coeficiente_Difusao;
uses Crt;
const X=111; {X deve ser mudado a cada teste}      {linha 61}
      L=40;
      Delta=1e-3;
      Temperatura = 70;      {linha 64}
      UR = 10;               {linha 65}
      Tempo = 27.6;          {linha 66}
      Raio_zero = 0.01545;   {linha 67}
      A = 0.4743;            {linha 68}
      B = 0.5344;            {linha 69}
var   J,I,M,
      N      : Integer;
      DT,
      Difusa,
      Raio,
      DR,
      TAL,
      hm,
      Biot_massa,
      SSR,
      SQRes,
      SUM,
      SOMA      : real;
      CondIni : array[0..50] of real;
      UmiOld   : array[0..50] of real;
      UmiNew   : array[0..1500] of real;
      IniPond  : array[1..50] of real;
      UmiPond  : array[1..50] of real;
      UmiMed   : array[0..1500] of real;
      t        : array[1..X] of real;
      UmiReal  : array[1..X] of real;
      Residuo  : array[1..X] of real;
      entra,saida : text;

```

```

procedure Imprime_titulo;
begin
Assign(saida,'a:\NUM7010\ECC7010.DAT');          {linha 96}
Rewrite(saida);
Writeln(saida,'***Resultados do modelo difusivo numerico, considerando');
Writeln(saida,' encolhimento e conveccao na superficie da banana***');Writeln(saida);
Writeln(saida,' ':10,'*** T = ',Temperatura:2,' ':3,'UR = ',UR:2,'
','***');Writeln(saida);Writeln(saida);
Writeln(saida,'Tempo de Secagem = ',Tempo:5:2);
Writeln(saida,'Coeficiente de Difusao = ',Difusa:11:10);
Writeln(saida,'Raio Inicial = ',Raio_zero:6:5);
Writeln(saida,'Coeficiente Convectivo de TM = ',hm:7:6);
Writeln(saida);Writeln(saida);
Writeln(saida,' N',' ':2,' t(h) ',' ',REAL ',' ',CALC.',' ',RES. ');
Writeln(saida,'-----');
Writeln(saida);
close(saida);
end;

```

```

procedure Le_Dados_Calc_Residuo;
begin
Assign(entra,'c:\U7010.asc');                    {linha 114}
Reset(entra);
SSR := 0;
For M := 1 to X do
begin
Read(entra,UmiReal[M],t[M]);readln(entra);
Residuo[M] := UmiReal[M] - UmiMed[M-1];
SSR := SSR + SQR(Residuo[M]);
Writeln(M:3,' ',t[M]:5:4,' ',UmiReal[M]:5:4,' ',UmiMed[M-1]:5:4,' ',Residuo[M]:5:4);
end;
close(entra);
end;

```

```

procedure Cond_Ini;
begin
J := 0;
For I := 0 to (L-1) do
CondIni[I] := 1;
CondIni[L] := L*CondIni[L-1]/(Biot_massa + L);
end;

```

```

procedure Calc_umidade;
begin
J := J+1;
For I := 1 to (L-1) do
UmiNew[I] := UmiOld[I] + DT/(2*sqr(DR))*((1+2*I)*UmiOld[I+1]/(I
+ (2*I-1)*UmiOld[I-1]/I - 4*UmiOld[I]);

```



```

    UmiNew[0] := (4*UmiNew[1] - UmiNew[2])/3;
    UmiNew[L] := (4*UmiNew[L-1] - UmiNew[L-2])/(2*DR*Biot_massa + 3);
    {UmiNew[L-1]/(DR*Biot_massa + 1)}
    For I := 0 to L do
        UmiOld[I] := UmiNew[I];
    end;

procedure Calc_media;
begin
    I := 1;
    while I < L do
    begin
        SUM := SUM + 4*I*UmiNew[I];
        I := I + 2;
    end;
    I := 2;
    while I < (L-1) do
    begin
        SUM := SUM + 2*I*UmiNew[I];
        I := I + 2;
    end;
    SUM := 2*sqr(DR)*(SUM + UmiNew[L]*L)/3;
end;

procedure Imprime;
begin
    Append(saida);
    For M := 1 to X do
    begin
        Writeln(saida,M:3,' ',t[M]:5:4,' ',UmiReal[M]:5:4,' ',
            UmiMed[M-1]:5:4,' ',Residuo[M]:5:4);
    end;
    Writeln(saida);
    Writeln(saida,'Soma dos quadrados dos residuos = ',SQRes);
close(saida);
end;

begin
    {N+};
    ClrScr;
    Write('Difusa',' ',3,'hm');
    Writeln;
    Readln(Difusa,hm);
    Writeln(Tempo:10:2,' ',4,Difusa:11:10,' ',8,Raio_zero:8:5,hm:10:6);Writeln;
    Writeln;
    Biot_massa := hm*Raio_zero/Difusa;
    Cond_Ini;
    DT := (Difusa/sqr(Raio_zero))*Delta;

```

```

J := 0;
N := 0;
DR := 1/L;
For I := 0 to L do
    UmiNew[I] := CondIni[I];
SUM := 0;
Calc_Media;
UmiMed[0] := SUM;

For I := 0 to L do
begin
    UmiOld[I] := CondIni[I];
end;
Raio := A + B*UmiMed[0];
DR := Raio/L;
N := 1;
Repeat
    Calc_Umidade;
    If J = N*250 then
    begin
        SUM := 0;
        Calc_Media;
        Raio := A + B*UmiMed[N];
        UmiMed[N] := SUM/sqr(Raio);
        DR := Raio/L;
        N := N+1;
    end;
until (N >= Tempo/(250*DELTA));
SSR := 0;
Le_Dados_Calc_Residuo;
SQRes := SSR;
Writeln;
{Imprime_titulo;}           {linha 220}
{Imprime;}                  {linha 221}
Writeln('Soma_quadrados_residuos = ',SQRes);Writeln;
end.

```

Apêndice D - Resultados do estudo experimental do encolhimento

Apêndice D1 - Dados de variação do raio com o teor de umidade da banana

AMOSTRA 1		AMOSTRA 2		AMOSTRA 3		AMOSTRA 4		AMOSTRA 5	
d/d_0	M_{bs}	d/d_0	M_{bs}	d/d_0	M_{bs}	d/d_0	M_{bs}	d/d_0	M_{bs}
1.00	3.03	1.00	3.03	1.00	3.03	1.00	3.03	1.00	3.03
0.97	2.58	0.93	2.52	0.92	2.49	0.97	2.24	0.92	2.46
0.92	2.24	0.86	2.23	0.86	2.19	0.87	2.02	0.92	2.28
0.85	1.90	0.81	1.89	0.79	1.87	0.80	1.70	0.82	1.94
0.81	1.71	0.79	1.70	0.78	1.69	0.78	1.51	0.76	1.72
0.78	1.57	0.76	1.55	0.75	1.57	0.78	1.37	0.74	1.56
0.76	1.42	0.73	1.40	0.73	1.42	0.72	1.24	0.73	1.40
0.75	1.33	0.72	1.28	0.70	1.31	0.71	1.13	0.73	1.27
0.72	1.06	0.68	1.04	0.67	1.10	0.68	0.89	0.66	0.98
0.68	0.85	0.65	0.82	0.65	0.90	0.64	0.70	0.64	0.74
0.64	0.68	0.60	0.65	0.63	0.72	0.61	0.54	0.58	0.57
0.61	0.56	0.59	0.53	0.60	0.61	0.57	0.44	0.56	0.46
0.57	0.43	0.54	0.41	0.56	0.49	0.53	0.33	0.53	0.36
0.55	0.37	0.53	0.35	0.54	0.44	0.52	0.29	0.52	0.31
0.54	0.28	0.50	0.26	0.54	0.35	0.51	0.21	0.51	0.23
0.59	0.24	0.50	0.22	0.52	0.30	0.50	0.17	0.52	0.20
0.53	0.22	0.48	0.20	0.49	0.28	0.48	0.16	0.51	0.20
0.50	0.21	0.47	0.21	0.47	0.28	0.48	0.16	0.47	0.16

Apêndice D2 - Equações que correlacionam o raio adimensional com o teor de umidade das bananas

	Equações	r^2
Amostra 1	$R/R_0 = 0,5065 + 0,1773M$	0,9781
Amostra 2	$R/R_0 = 0,4681 + 0,1824M$	0,9855
Amostra 3	$R/R_0 = 0,4653 + 0,1817M$	0,9845
Amostra 4	$R/R_0 = 0,4783 + 0,1936M$	0,9712
Amostra 5	$R/R_0 = 0,4721 + 0,1819M$	0,9880

Apêndice E

Resultados de medidas experimentais do diâmetro inicial (d_i) e final (d_f) das bananas referentes aos Testes 1 a 5.

Teste	d_i (m)	d_f (m)	$d_i - d_f$ (m)	% encolhimento
1	0,03227	0,01819	0,01408	44
2	0,03139	0,01679	0,01460	47
3	0,03043	0,01747	0,01296	43
4	0,03060	0,01651	0,01409	46
5	0,03012	0,01686	0,01326	44

Apêndice F

Resultados experimentais e calculados pelos modelos

Apêndice F1 - Resultados dos Modelos 1 e 2 para o Teste 1 (T=29,9°C e UR=35,7%)

Tempo de secagem = 121,85 horas

Raio inicial = 0,01613 m

Coefficiente de difusão (Modelo 1) = $7,220 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{h}$

Coefficiente de difusão (Modelo 2) = $1,783 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{h}$

Coefficiente convectivo (Modelo 2) = 0,000331 m/h

N	t (h)	REAL	MODELO 1		MODELO 2	
			CALC.	RES.	CALC.	RES.
1	0	1	0.9833	0.0167	0.9988	0.0012
2	0.25	0.99	0.9402	0.0498	0.9897	0.0004
3	0.5	0.9814	0.9166	0.0648	0.981	0.0004
4	0.75	0.9736	0.8985	0.0751	0.9728	0.0008
5	1	0.9653	0.8834	0.0819	0.9649	0.0004
6	1.25	0.9569	0.8701	0.0868	0.9572	-0.0003
7	1.5	0.9492	0.8582	0.091	0.9497	-0.0005
8	1.75	0.9422	0.8473	0.0949	0.9424	-0.0002
9	2	0.9349	0.8372	0.0978	0.9353	-0.0004
10	2.25	0.9275	0.8277	0.0998	0.9284	-0.0009
11	2.5	0.9205	0.8188	0.1017	0.9216	-0.0011
12	2.75	0.914	0.8103	0.1037	0.9149	-0.0009
13	3	0.9077	0.8023	0.1054	0.9084	-0.0007
14	3.25	0.9008	0.7946	0.1062	0.9019	-0.0011
15	3.5	0.8943	0.7872	0.107	0.8956	-0.0013
16	3.75	0.8882	0.7802	0.1081	0.8894	-0.0011
17	4	0.8824	0.7733	0.1091	0.8832	-0.0008
18	4.25	0.8761	0.7667	0.1094	0.8772	-0.001
19	4.5	0.8699	0.7604	0.1096	0.8712	-0.0013
20	4.75	0.8642	0.7542	0.1101	0.8654	-0.0011
21	5	0.8588	0.7482	0.1106	0.8596	-0.0008
22	5.25	0.8531	0.7423	0.1108	0.8539	-0.0007
23	5.5	0.8473	0.7366	0.1107	0.8482	-0.0009
24	5.75	0.8419	0.7311	0.1107	0.8427	-0.0008
25	6	0.8366	0.7257	0.1108	0.8372	-0.0006
26	6.25	0.8315	0.7204	0.1111	0.8317	-0.0002
27	6.5	0.8259	0.7153	0.1107	0.8264	-0.0004
28	6.75	0.8207	0.7102	0.1105	0.8211	-0.0003
29	7.05	0.8148	0.7053	0.1095	0.8158	-0.0011
30	7.35	0.8089	0.7004	0.1084	0.8106	-0.0017

31	7.6	0.8038	0.6957	0.1081	0.8055	-0.0017
32	7.85	0.7988	0.6911	0.1078	0.8004	-0.0016
33	8.1	0.7941	0.6865	0.1076	0.7954	-0.0013
34	8.35	0.7896	0.682	0.1076	0.7904	-0.0008
35	8.6	0.7847	0.6776	0.1071	0.7855	-0.0008
36	8.85	0.7799	0.6733	0.1066	0.7806	-0.0007
37	9.1	0.7753	0.669	0.1063	0.7758	-0.0005
38	9.35	0.771	0.6648	0.1062	0.771	0
39	9.6	0.7665	0.6607	0.1058	0.7663	0.0002
40	9.85	0.7618	0.6567	0.1052	0.7616	0.0002
41	10.1	0.7574	0.6527	0.1048	0.757	0.0004
42	10.35	0.7533	0.6487	0.1046	0.7524	0.0009
43	10.6	0.7491	0.6448	0.1043	0.7478	0.0013
44	10.85	0.7446	0.641	0.1036	0.7433	0.0013
45	11.1	0.7404	0.6373	0.1031	0.7389	0.0015
46	11.35	0.7363	0.6335	0.1028	0.7344	0.0019
47	11.6	0.7323	0.6299	0.1024	0.73	0.0023
48	11.85	0.7281	0.6262	0.1019	0.7257	0.0025
49	12.1	0.7239	0.6227	0.1012	0.7213	0.0025
50	12.35	0.72	0.6191	0.1008	0.7171	0.0029
51	12.6	0.7162	0.6157	0.1006	0.7128	0.0034
52	12.85	0.7121	0.6122	0.0999	0.7086	0.0035
53	13.1	0.7081	0.6088	0.0993	0.7044	0.0037
54	13.35	0.7044	0.6055	0.0989	0.7003	0.0041
55	13.6	0.7006	0.6021	0.0985	0.6961	0.0045
56	13.85	0.6968	0.5988	0.0979	0.6921	0.0047
57	14.1	0.6929	0.5956	0.0973	0.688	0.0048
58	14.35	0.6891	0.5924	0.0967	0.684	0.0051
59	14.6	0.6855	0.5892	0.0963	0.68	0.0055
60	14.85	0.6819	0.5861	0.0959	0.6761	0.0059
61	15.1	0.6782	0.583	0.0952	0.6721	0.006
62	15.35	0.6744	0.5799	0.0945	0.6682	0.0062
63	15.6	0.6709	0.5768	0.0941	0.6644	0.0065
64	15.85	0.6676	0.5738	0.0937	0.6605	0.007
65	16.1	0.6639	0.5708	0.093	0.6567	0.0072
66	16.35	0.6603	0.5679	0.0924	0.6529	0.0074
67	16.6	0.6569	0.565	0.0919	0.6492	0.0077
68	16.85	0.6534	0.5621	0.0914	0.6454	0.008
69	17.1	0.65	0.5592	0.0908	0.6417	0.0083
70	17.35	0.6465	0.5564	0.0901	0.6381	0.0084
71	17.6	0.6431	0.5535	0.0895	0.6344	0.0086
72	17.85	0.6398	0.5508	0.089	0.6308	0.009
73	18.1	0.6365	0.548	0.0885	0.6272	0.0093
74	18.35	0.6331	0.5452	0.0879	0.6236	0.0095
75	18.6	0.6298	0.5425	0.0872	0.6201	0.0097
76	18.85	0.6265	0.5398	0.0866	0.6165	0.0099
77	19.1	0.6234	0.5372	0.0862	0.613	0.0103
78	19.35	0.62	0.5345	0.0855	0.6096	0.0105
79	19.6	0.6167	0.5319	0.0848	0.6061	0.0106
80	19.85	0.6135	0.5293	0.0842	0.6027	0.0108
81	20.1	0.6103	0.5267	0.0836	0.5993	0.0111
82	20.35	0.6071	0.5242	0.083	0.5959	0.0113
83	20.6	0.6038	0.5216	0.0822	0.5925	0.0113
84	20.85	0.6007	0.5191	0.0816	0.5892	0.0115
85	21.1	0.5977	0.5166	0.0811	0.5859	0.0118
86	21.35	0.5946	0.5141	0.0805	0.5826	0.0121
87	21.6	0.5914	0.5117	0.0797	0.5793	0.0121
88	21.85	0.5883	0.5092	0.079	0.576	0.0122
89	22.1	0.5853	0.5068	0.0784	0.5728	0.0125
90	22.35	0.5823	0.5044	0.0779	0.5696	0.0127
91	22.6	0.5791	0.502	0.0771	0.5664	0.0127
92	22.85	0.576	0.4997	0.0764	0.5632	0.0128
93	23.1	0.5731	0.4973	0.0758	0.5601	0.013
94	23.35	0.5702	0.495	0.0752	0.5569	0.0132
95	23.6	0.5671	0.4927	0.0744	0.5538	0.0133
96	23.85	0.564	0.4904	0.0736	0.5507	0.0133
97	24.1	0.5611	0.4881	0.073	0.5477	0.0134

98	24.35	0.5583	0.4858	0.0725	0.5446	0.0137
99	24.6	0.5555	0.4836	0.0719	0.5416	0.0139
100	24.85	0.5524	0.4814	0.0711	0.5385	0.0139
101	25.1	0.5495	0.4792	0.0703	0.5355	0.014
102	25.35	0.5467	0.477	0.0698	0.5326	0.0142
103	25.6	0.5439	0.4748	0.0691	0.5296	0.0143
104	25.85	0.5409	0.4726	0.0683	0.5267	0.0143
105	26.1	0.5379	0.4704	0.0675	0.5237	0.0142
106	26.35	0.535	0.4683	0.0667	0.5208	0.0142
107	26.6	0.5321	0.4662	0.0659	0.5179	0.0142
108	26.85	0.5293	0.4641	0.0653	0.5151	0.0143
109	27.1	0.5262	0.462	0.0643	0.5122	0.014
110	27.35	0.5234	0.4599	0.0635	0.5094	0.014
111	27.6	0.5206	0.4578	0.0628	0.5065	0.0141
112	27.85	0.5178	0.4558	0.0621	0.5037	0.0141
113	28.1	0.515	0.4537	0.0613	0.5009	0.014
114	28.35	0.5122	0.4517	0.0605	0.4982	0.014
115	28.6	0.5094	0.4497	0.0598	0.4954	0.014
116	28.85	0.5067	0.4476	0.0591	0.4927	0.014
117	29.1	0.504	0.4457	0.0584	0.4899	0.0141
118	29.35	0.5012	0.4437	0.0575	0.4872	0.0139
119	29.6	0.4985	0.4417	0.0568	0.4845	0.0139
120	29.85	0.4958	0.4397	0.056	0.4819	0.0139
121	30.1	0.4932	0.4378	0.0554	0.4792	0.014
122	30.35	0.4904	0.4359	0.0545	0.4766	0.0138
123	30.6	0.4877	0.4339	0.0537	0.4739	0.0138
124	30.85	0.4851	0.432	0.053	0.4713	0.0138
125	31.1	0.4825	0.4301	0.0523	0.4687	0.0137
126	31.35	0.4798	0.4283	0.0515	0.4661	0.0136
127	31.6	0.4771	0.4264	0.0507	0.4636	0.0135
128	31.85	0.4744	0.4245	0.0499	0.461	0.0134
129	32.1	0.4719	0.4227	0.0493	0.4585	0.0135
130	32.35	0.4694	0.4208	0.0486	0.456	0.0135
131	32.6	0.4668	0.419	0.0478	0.4534	0.0134
132	32.85	0.4642	0.4172	0.047	0.4509	0.0132
133	33.1	0.4617	0.4153	0.0464	0.4485	0.0133
134	33.35	0.4592	0.4135	0.0457	0.446	0.0132
135	33.6	0.4567	0.4118	0.0449	0.4435	0.0131
136	33.85	0.4541	0.41	0.0441	0.4411	0.013
137	34.1	0.4515	0.4082	0.0433	0.4387	0.0129
138	34.35	0.4491	0.4064	0.0426	0.4363	0.0128
139	34.6	0.4466	0.4047	0.0419	0.4339	0.0128
140	34.85	0.4441	0.4029	0.0412	0.4315	0.0126
141	35.1	0.4416	0.4012	0.0404	0.4291	0.0125
142	35.35	0.4391	0.3995	0.0396	0.4268	0.0124
143	35.6	0.4367	0.3978	0.0389	0.4244	0.0123
144	35.85	0.4342	0.3961	0.0382	0.4221	0.0121
145	36.1	0.4318	0.3944	0.0374	0.4198	0.012
146	36.35	0.4293	0.3927	0.0366	0.4175	0.0119
147	36.6	0.427	0.391	0.0359	0.4152	0.0118
148	36.85	0.4247	0.3893	0.0353	0.4129	0.0118
149	37.1	0.4222	0.3877	0.0345	0.4106	0.0116
150	37.35	0.4198	0.386	0.0337	0.4084	0.0114
151	37.6	0.4175	0.3844	0.0331	0.4061	0.0113
152	37.85	0.4152	0.3828	0.0324	0.4039	0.0113
153	38.1	0.4129	0.3811	0.0318	0.4017	0.0112
154	38.35	0.4105	0.3795	0.0309	0.3995	0.0111
155	38.6	0.4081	0.3779	0.0302	0.3973	0.0108
156	38.85	0.4059	0.3763	0.0296	0.3951	0.0108
157	39.1	0.4037	0.3747	0.029	0.393	0.0107
158	39.35	0.4014	0.3731	0.0283	0.3908	0.0106
159	39.6	0.3991	0.3716	0.0276	0.3887	0.0105
160	39.85	0.3969	0.37	0.0269	0.3865	0.0104
161	40.1	0.3947	0.3684	0.0263	0.3844	0.0103
162	40.35	0.3926	0.3669	0.0257	0.3823	0.0103
163	40.6	0.3903	0.3653	0.025	0.3802	0.0101
164	40.85	0.3882	0.3638	0.0244	0.3781	0.01

165	41.1	0.3861	0.3623	0.0238	0.3761	0.01
166	41.35	0.3841	0.3608	0.0233	0.374	0.0101
167	41.6	0.3819	0.3592	0.0226	0.372	0.0099
168	41.85	0.3798	0.3577	0.022	0.3699	0.0098
169	42.1	0.3777	0.3562	0.0215	0.3679	0.0098
170	42.35	0.3758	0.3548	0.021	0.3659	0.0099
171	42.6	0.3736	0.3533	0.0204	0.3639	0.0098
172	42.85	0.3716	0.3518	0.0198	0.3619	0.0097
173	43.1	0.3696	0.3503	0.0192	0.3599	0.0097
174	43.35	0.3676	0.3489	0.0187	0.3579	0.0097
175	43.6	0.3656	0.3474	0.0182	0.356	0.0097
176	43.85	0.3637	0.346	0.0177	0.354	0.0096
177	44.1	0.3617	0.3445	0.0172	0.3521	0.0096
178	44.35	0.3598	0.3431	0.0167	0.3502	0.0096
179	44.6	0.3579	0.3417	0.0162	0.3483	0.0096
180	44.85	0.3558	0.3402	0.0156	0.3463	0.0095
181	45.1	0.3539	0.3388	0.0151	0.3445	0.0094
182	45.35	0.352	0.3374	0.0146	0.3426	0.0094
183	45.6	0.3501	0.336	0.0141	0.3407	0.0094
184	45.85	0.3483	0.3346	0.0136	0.3388	0.0094
185	46.1	0.3463	0.3332	0.013	0.337	0.0093
186	46.35	0.3443	0.3319	0.0125	0.3351	0.0092
187	46.6	0.3425	0.3305	0.012	0.3333	0.0091
188	46.85	0.3407	0.3291	0.0115	0.3315	0.0092
189	47.1	0.3388	0.3278	0.011	0.3297	0.0091
190	47.35	0.3369	0.3264	0.0105	0.3279	0.009
191	47.6	0.335	0.3251	0.01	0.3261	0.0089
192	47.85	0.3332	0.3237	0.0095	0.3243	0.0089
193	48.1	0.3314	0.3224	0.009	0.3225	0.0089
194	48.35	0.3296	0.3211	0.0085	0.3208	0.0088
195	48.6	0.3276	0.3197	0.0079	0.319	0.0086
196	48.85	0.3257	0.3184	0.0073	0.3173	0.0085
197	49.1	0.3239	0.3171	0.0068	0.3155	0.0084
198	49.35	0.3221	0.3158	0.0063	0.3138	0.0083
199	49.6	0.3202	0.3145	0.0057	0.3121	0.0081
200	49.85	0.3183	0.3132	0.0051	0.3104	0.0079
201	50.1	0.3164	0.3119	0.0045	0.3087	0.0077
202	50.35	0.3145	0.3106	0.0039	0.307	0.0075
203	50.6	0.3127	0.3094	0.0033	0.3053	0.0073
204	50.85	0.3108	0.3081	0.0027	0.3037	0.0071
205	51.1	0.3089	0.3068	0.0021	0.302	0.0069
206	51.35	0.307	0.3056	0.0014	0.3003	0.0067
207	51.6	0.3051	0.3043	0.0007	0.2987	0.0064
208	51.85	0.3033	0.3031	0.0002	0.2971	0.0062
209	52.1	0.3015	0.3018	-0.0004	0.2954	0.006
210	52.35	0.2996	0.3006	-0.001	0.2938	0.0058
211	52.6	0.2978	0.2994	-0.0016	0.2922	0.0056
212	52.85	0.296	0.2981	-0.0021	0.2906	0.0054
213	53.1	0.2942	0.2969	-0.0027	0.289	0.0052
214	53.35	0.2925	0.2957	-0.0032	0.2875	0.005
215	53.6	0.2907	0.2945	-0.0038	0.2859	0.0048
216	53.85	0.2889	0.2933	-0.0044	0.2843	0.0046
217	54.1	0.2872	0.2921	-0.0049	0.2828	0.0044
218	54.35	0.2856	0.2909	-0.0054	0.2812	0.0043
219	54.6	0.2838	0.2897	-0.006	0.2797	0.0041
220	54.85	0.282	0.2885	-0.0066	0.2782	0.0038
221	55.1	0.2803	0.2874	-0.007	0.2767	0.0037
222	55.35	0.2787	0.2862	-0.0075	0.2751	0.0035
223	55.6	0.277	0.285	-0.0081	0.2736	0.0033
224	55.85	0.2753	0.2839	-0.0086	0.2721	0.0031
225	56.1	0.2735	0.2827	-0.0092	0.2707	0.0029
226	56.35	0.2718	0.2816	-0.0097	0.2692	0.0027
227	56.6	0.2703	0.2804	-0.0101	0.2677	0.0026
228	56.85	0.2686	0.2793	-0.0107	0.2662	0.0023
229	57.1	0.2669	0.2781	-0.0112	0.2648	0.0021
230	57.35	0.2653	0.277	-0.0117	0.2633	0.002
231	57.6	0.2638	0.2759	-0.0121	0.2619	0.0018

232	57.85	0.2622	0.2748	-0.0126	0.2605	0.0017
233	58.1	0.2606	0.2736	-0.0131	0.2591	0.0015
234	58.35	0.2589	0.2725	-0.0136	0.2576	0.0013
235	58.6	0.2575	0.2714	-0.014	0.2562	0.0012
236	58.85	0.2559	0.2703	-0.0144	0.2548	0.0011
237	59.1	0.2544	0.2692	-0.0149	0.2534	0.0009
238	59.35	0.2527	0.2681	-0.0154	0.2521	0.0007
239	59.6	0.2512	0.267	-0.0159	0.2507	0.0005
240	59.85	0.2497	0.266	-0.0162	0.2493	0.0004
241	60.1	0.2482	0.2649	-0.0166	0.248	0.0003
242	60.35	0.2466	0.2638	-0.0172	0.2466	0
243	60.6	0.2451	0.2627	-0.0177	0.2453	-0.0002
244	60.85	0.2437	0.2617	-0.018	0.2439	-0.0002
245	61.1	0.2422	0.2606	-0.0184	0.2426	-0.0004
246	61.35	0.2407	0.2596	-0.0188	0.2413	-0.0005
247	61.6	0.2393	0.2585	-0.0192	0.2399	-0.0007
248	61.85	0.2378	0.2575	-0.0197	0.2386	-0.0008
249	62.1	0.2364	0.2564	-0.02	0.2373	-0.0009
250	62.35	0.235	0.2554	-0.0204	0.236	-0.001
251	62.6	0.2336	0.2543	-0.0207	0.2347	-0.0011
252	62.85	0.2322	0.2533	-0.0211	0.2335	-0.0012
253	63.1	0.2308	0.2523	-0.0215	0.2322	-0.0014
254	63.35	0.2295	0.2513	-0.0218	0.2309	-0.0015
255	63.6	0.2281	0.2502	-0.0222	0.2297	-0.0016
256	63.85	0.2267	0.2492	-0.0226	0.2284	-0.0017
257	64.1	0.2253	0.2482	-0.0229	0.2272	-0.0019
258	64.35	0.224	0.2472	-0.0232	0.2259	-0.0019
259	64.6	0.2228	0.2462	-0.0235	0.2247	-0.0019
260	64.85	0.2215	0.2452	-0.0238	0.2235	-0.002
261	65.1	0.2202	0.2442	-0.024	0.2222	-0.002
262	65.35	0.219	0.2433	-0.0242	0.221	-0.002
263	65.6	0.2178	0.2423	-0.0245	0.2198	-0.002
264	65.85	0.2166	0.2413	-0.0247	0.2186	-0.0021
265	66.1	0.2153	0.2403	-0.025	0.2174	-0.0021
266	66.35	0.214	0.2393	-0.0253	0.2162	-0.0022
267	66.6	0.2129	0.2384	-0.0255	0.2151	-0.0022
268	66.85	0.2117	0.2374	-0.0257	0.2139	-0.0021
269	67.1	0.2105	0.2365	-0.0259	0.2127	-0.0022
270	67.35	0.2093	0.2355	-0.0262	0.2116	-0.0023
271	67.6	0.2082	0.2346	-0.0263	0.2104	-0.0022
272	67.85	0.2072	0.2336	-0.0264	0.2093	-0.0021
273	68.1	0.2059	0.2327	-0.0267	0.2081	-0.0022
274	68.35	0.2048	0.2317	-0.0269	0.207	-0.0022
275	68.6	0.2037	0.2308	-0.0271	0.2058	-0.0022
276	68.85	0.2026	0.2299	-0.0273	0.2047	-0.0021
277	69.1	0.2015	0.2289	-0.0274	0.2036	-0.0021
278	69.35	0.2003	0.228	-0.0277	0.2025	-0.0022
279	69.6	0.1992	0.2271	-0.0279	0.2014	-0.0022
280	69.85	0.1981	0.2262	-0.0281	0.2003	-0.0022
281	70.1	0.1971	0.2253	-0.0282	0.1992	-0.0021
282	70.35	0.196	0.2244	-0.0284	0.1981	-0.0021
283	70.6	0.1949	0.2235	-0.0285	0.197	-0.0021
284	70.85	0.1938	0.2226	-0.0288	0.1959	-0.0022
285	71.1	0.1926	0.2217	-0.029	0.1949	-0.0022
286	71.35	0.1916	0.2208	-0.0292	0.1938	-0.0022
287	71.6	0.1905	0.2199	-0.0294	0.1928	-0.0022
288	71.85	0.1895	0.219	-0.0295	0.1917	-0.0022
289	72.1	0.1883	0.2181	-0.0298	0.1907	-0.0023
290	72.35	0.1873	0.2172	-0.03	0.1896	-0.0024
291	72.6	0.1861	0.2164	-0.0302	0.1886	-0.0025
292	72.85	0.1851	0.2155	-0.0304	0.1876	-0.0024
293	73.1	0.184	0.2146	-0.0306	0.1865	-0.0025
294	73.35	0.1828	0.2138	-0.0309	0.1855	-0.0027
295	73.6	0.1817	0.2129	-0.0312	0.1845	-0.0028
296	73.85	0.1806	0.212	-0.0315	0.1835	-0.0029
297	74.1	0.1793	0.2112	-0.0319	0.1825	-0.0032
298	74.35	0.1782	0.2103	-0.0321	0.1815	-0.0033

299	74.6	0.177	0.2095	-0.0325	0.1805	-0.0035
300	74.85	0.1758	0.2086	-0.0328	0.1795	-0.0037
301	75.1	0.1746	0.2078	-0.0332	0.1785	-0.0039
302	75.35	0.1734	0.207	-0.0336	0.1776	-0.0042
303	75.6	0.1722	0.2061	-0.0339	0.1766	-0.0044
304	75.85	0.1711	0.2053	-0.0342	0.1756	-0.0045
305	76.1	0.1699	0.2045	-0.0345	0.1747	-0.0047
306	76.35	0.1687	0.2037	-0.0349	0.1737	-0.005
307	76.6	0.1676	0.2028	-0.0353	0.1728	-0.0052
308	76.85	0.1665	0.202	-0.0355	0.1718	-0.0053
309	77.1	0.1653	0.2012	-0.0359	0.1709	-0.0056
310	77.35	0.1642	0.2004	-0.0362	0.17	-0.0057
311	77.6	0.1632	0.1996	-0.0364	0.169	-0.0059
312	77.85	0.1621	0.1988	-0.0367	0.1681	-0.006
313	78.1	0.161	0.198	-0.037	0.1672	-0.0062
314	78.35	0.1599	0.1972	-0.0373	0.1663	-0.0064
315	78.6	0.1588	0.1964	-0.0376	0.1654	-0.0065
316	78.85	0.1578	0.1956	-0.0378	0.1645	-0.0067
317	79.1	0.1567	0.1948	-0.0381	0.1636	-0.0068
318	79.35	0.1557	0.1941	-0.0384	0.1627	-0.007
319	79.6	0.1547	0.1933	-0.0386	0.1618	-0.0071
320	79.85	0.1536	0.1925	-0.0389	0.1609	-0.0073
321	80.1	0.1526	0.1917	-0.0391	0.16	-0.0074
322	80.35	0.1517	0.191	-0.0393	0.1592	-0.0075
323	80.6	0.1506	0.1902	-0.0396	0.1583	-0.0077
324	80.85	0.1496	0.1894	-0.0398	0.1574	-0.0078
325	81.1	0.1486	0.1887	-0.04	0.1566	-0.0079
326	81.35	0.1477	0.1879	-0.0403	0.1557	-0.008
327	81.6	0.1467	0.1872	-0.0405	0.1549	-0.0082
328	81.85	0.1457	0.1864	-0.0407	0.154	-0.0083
329	82.1	0.1448	0.1857	-0.0409	0.1532	-0.0084
330	82.35	0.1439	0.1849	-0.041	0.1523	-0.0084
331	82.6	0.1428	0.1842	-0.0413	0.1515	-0.0087
332	82.85	0.1419	0.1834	-0.0415	0.1507	-0.0087
333	83.1	0.141	0.1827	-0.0417	0.1499	-0.0089
334	83.35	0.1401	0.182	-0.0419	0.149	-0.009
335	83.6	0.1392	0.1812	-0.0421	0.1482	-0.0091
336	83.85	0.1383	0.1805	-0.0422	0.1474	-0.0091
337	84.1	0.1374	0.1798	-0.0424	0.1466	-0.0092
338	84.35	0.1365	0.1791	-0.0426	0.1458	-0.0093
339	84.6	0.1356	0.1783	-0.0428	0.145	-0.0094
340	84.85	0.1347	0.1776	-0.0429	0.1442	-0.0095
341	85.1	0.1338	0.1769	-0.0431	0.1434	-0.0097
342	85.35	0.1328	0.1762	-0.0434	0.1427	-0.0099
343	85.6	0.1321	0.1755	-0.0434	0.1419	-0.0098
344	85.85	0.1312	0.1748	-0.0436	0.1411	-0.0099
345	86.1	0.1303	0.1741	-0.0438	0.1403	-0.0101
346	86.35	0.1294	0.1734	-0.044	0.1396	-0.0102
347	86.6	0.1286	0.1727	-0.0441	0.1388	-0.0102
348	86.85	0.1278	0.172	-0.0442	0.138	-0.0102
349	87.1	0.1269	0.1713	-0.0444	0.1373	-0.0104
350	87.35	0.126	0.1706	-0.0446	0.1365	-0.0105
351	87.6	0.1252	0.1699	-0.0447	0.1358	-0.0106
352	87.85	0.1245	0.1693	-0.0448	0.1351	-0.0106
353	88.1	0.1237	0.1686	-0.0449	0.1343	-0.0107
354	88.35	0.1229	0.1679	-0.045	0.1336	-0.0107
355	88.6	0.1222	0.1672	-0.045	0.1329	-0.0107
356	88.85	0.1215	0.1666	-0.045	0.1321	-0.0106
357	89.1	0.1209	0.1659	-0.045	0.1314	-0.0105
358	89.35	0.1201	0.1652	-0.0451	0.1307	-0.0105
359	89.6	0.1194	0.1646	-0.0452	0.13	-0.0106
360	89.85	0.1188	0.1639	-0.0451	0.1293	-0.0105
361	90.1	0.1182	0.1632	-0.0451	0.1286	-0.0104
362	90.35	0.1175	0.1626	-0.0451	0.1279	-0.0103
363	90.6	0.1169	0.1619	-0.0451	0.1272	-0.0103
364	90.85	0.1162	0.1613	-0.0451	0.1265	-0.0102
365	91.1	0.1157	0.1606	-0.045	0.1258	-0.0101

366	91.35	0.1151	0.16	-0.0449	0.1251	-0.01
367	91.6	0.1144	0.1594	-0.0449	0.1244	-0.01
368	91.85	0.1139	0.1587	-0.0449	0.1237	-0.0099
369	92.1	0.1133	0.1581	-0.0448	0.1231	-0.0098
370	92.35	0.1127	0.1574	-0.0447	0.1224	-0.0097
371	92.6	0.1121	0.1568	-0.0447	0.1217	-0.0096
372	92.85	0.1116	0.1562	-0.0446	0.121	-0.0095
373	93.1	0.1109	0.1556	-0.0446	0.1204	-0.0095
374	93.35	0.1104	0.1549	-0.0445	0.1197	-0.0093
375	93.6	0.1099	0.1543	-0.0445	0.1191	-0.0092
376	93.85	0.1092	0.1537	-0.0445	0.1184	-0.0092
377	94.1	0.1086	0.1531	-0.0445	0.1178	-0.0091
378	94.35	0.1081	0.1525	-0.0444	0.1171	-0.0091
379	94.6	0.1076	0.1519	-0.0443	0.1165	-0.0089
380	94.85	0.107	0.1513	-0.0443	0.1159	-0.0089
381	95.1	0.1064	0.1506	-0.0442	0.1152	-0.0088
382	95.35	0.1059	0.15	-0.0442	0.1146	-0.0087
383	95.6	0.1052	0.1494	-0.0442	0.114	-0.0088
384	95.85	0.1046	0.1488	-0.0442	0.1134	-0.0087
385	96.1	0.1041	0.1482	-0.0442	0.1127	-0.0087
386	96.35	0.1035	0.1477	-0.0442	0.1121	-0.0086
387	96.6	0.1028	0.1471	-0.0442	0.1115	-0.0087
388	96.85	0.1022	0.1465	-0.0443	0.1109	-0.0087
389	97.1	0.1016	0.1459	-0.0443	0.1103	-0.0087
390	97.35	0.101	0.1453	-0.0443	0.1097	-0.0087
391	97.6	0.1004	0.1447	-0.0443	0.1091	-0.0087
392	97.85	0.0996	0.1441	-0.0446	0.1085	-0.0089
393	98.1	0.0989	0.1436	-0.0446	0.1079	-0.009
394	98.35	0.0982	0.143	-0.0448	0.1073	-0.0091
395	98.6	0.0974	0.1424	-0.045	0.1067	-0.0093
396	98.85	0.0967	0.1418	-0.0451	0.1061	-0.0094
397	99.1	0.0961	0.1413	-0.0452	0.1056	-0.0095
398	99.35	0.0953	0.1407	-0.0454	0.105	-0.0097
399	99.6	0.0946	0.1401	-0.0456	0.1044	-0.0098
400	99.85	0.0939	0.1396	-0.0457	0.1039	-0.01
401	100.1	0.0931	0.139	-0.0459	0.1033	-0.0102
402	100.35	0.0925	0.1385	-0.046	0.1027	-0.0103
403	100.6	0.0917	0.1379	-0.0462	0.1022	-0.0104
404	100.85	0.0911	0.1374	-0.0463	0.1016	-0.0105
405	101.1	0.0903	0.1368	-0.0465	0.101	-0.0107
406	101.35	0.0897	0.1363	-0.0466	0.1005	-0.0108
407	101.6	0.089	0.1357	-0.0467	0.0999	-0.0109
408	101.85	0.0884	0.1352	-0.0468	0.0994	-0.011
409	102.1	0.0878	0.1346	-0.0468	0.0989	-0.011
410	102.35	0.0872	0.1341	-0.0468	0.0983	-0.0111
411	102.6	0.0867	0.1336	-0.0469	0.0978	-0.0111
412	102.85	0.086	0.133	-0.047	0.0972	-0.0112
413	103.1	0.0854	0.1325	-0.0471	0.0967	-0.0114
414	103.35	0.0848	0.132	-0.0472	0.0962	-0.0114
415	103.6	0.0841	0.1314	-0.0473	0.0957	-0.0115
416	103.85	0.0837	0.1309	-0.0472	0.0951	-0.0115
417	104.1	0.083	0.1304	-0.0474	0.0946	-0.0116
418	104.35	0.0824	0.1299	-0.0474	0.0941	-0.0117
419	104.6	0.0819	0.1293	-0.0475	0.0936	-0.0117
420	104.85	0.0814	0.1288	-0.0474	0.0931	-0.0117
421	105.1	0.0809	0.1283	-0.0474	0.0926	-0.0117
422	105.35	0.0803	0.1278	-0.0475	0.0921	-0.0118
423	105.6	0.0797	0.1273	-0.0475	0.0916	-0.0118
424	105.85	0.0792	0.1268	-0.0476	0.0911	-0.0119
425	106.1	0.0787	0.1263	-0.0476	0.0906	-0.0119
426	106.35	0.0781	0.1257	-0.0477	0.0901	-0.012
427	106.6	0.0776	0.1252	-0.0476	0.0896	-0.012
428	106.85	0.077	0.1247	-0.0477	0.0891	-0.0121
429	107.1	0.0765	0.1242	-0.0478	0.0886	-0.0121
430	107.35	0.076	0.1237	-0.0478	0.0881	-0.0121
431	107.6	0.0754	0.1233	-0.0478	0.0876	-0.0122
432	107.85	0.0749	0.1228	-0.0478	0.0872	-0.0123

433	108.1	0.0743	0.1223	-0.0479	0.0867	-0.0123
434	108.35	0.0739	0.1218	-0.0479	0.0862	-0.0124
435	108.6	0.0733	0.1213	-0.048	0.0857	-0.0125
436	108.85	0.0727	0.1208	-0.0481	0.0853	-0.0126
437	109.1	0.0721	0.1203	-0.0482	0.0848	-0.0127
438	109.35	0.0717	0.1198	-0.0481	0.0843	-0.0126
439	109.6	0.0712	0.1194	-0.0481	0.0839	-0.0126
440	109.85	0.0708	0.1189	-0.0481	0.0834	-0.0127
441	110.1	0.0702	0.1184	-0.0482	0.083	-0.0128
442	110.35	0.0697	0.1179	-0.0482	0.0825	-0.0128
443	110.6	0.0692	0.1175	-0.0483	0.0821	-0.0129
444	110.85	0.0686	0.117	-0.0484	0.0816	-0.013
445	111.1	0.0681	0.1165	-0.0484	0.0812	-0.013
446	111.35	0.0676	0.1161	-0.0484	0.0807	-0.0131
447	111.6	0.0672	0.1156	-0.0484	0.0803	-0.0131
448	111.85	0.0667	0.1151	-0.0484	0.0799	-0.0131
449	112.1	0.0663	0.1147	-0.0484	0.0794	-0.0132
450	112.35	0.0659	0.1142	-0.0484	0.079	-0.0131
451	112.6	0.0654	0.1137	-0.0483	0.0786	-0.0131
452	112.85	0.0651	0.1133	-0.0482	0.0781	-0.013
453	113.1	0.0647	0.1128	-0.0481	0.0777	-0.013
454	113.35	0.0643	0.1124	-0.0481	0.0773	-0.013
455	113.6	0.064	0.1119	-0.048	0.0769	-0.0129
456	113.85	0.0636	0.1115	-0.0478	0.0764	-0.0128
457	114.1	0.0633	0.111	-0.0477	0.076	-0.0127
458	114.35	0.0631	0.1106	-0.0475	0.0756	-0.0125
459	114.6	0.0628	0.1102	-0.0473	0.0752	-0.0124
460	114.85	0.0626	0.1097	-0.0471	0.0748	-0.0122
461	115.1	0.0624	0.1093	-0.0469	0.0744	-0.0119
462	115.35	0.0622	0.1088	-0.0467	0.074	-0.0118
463	115.6	0.0619	0.1084	-0.0465	0.0736	-0.0117
464	115.85	0.0616	0.108	-0.0464	0.0732	-0.0116
465	116.1	0.0614	0.1075	-0.0462	0.0728	-0.0114
466	116.35	0.0611	0.1071	-0.046	0.0724	-0.0112
467	116.6	0.0609	0.1067	-0.0458	0.072	-0.0111
468	116.85	0.0605	0.1062	-0.0457	0.0716	-0.011
469	117.1	0.0603	0.1058	-0.0455	0.0712	-0.0109
470	117.35	0.06	0.1054	-0.0454	0.0708	-0.0108
471	117.6	0.0597	0.105	-0.0452	0.0704	-0.0107
472	117.85	0.0594	0.1046	-0.0452	0.07	-0.0106
473	118.1	0.0592	0.1041	-0.045	0.0696	-0.0105
474	118.35	0.0589	0.1037	-0.0448	0.0693	-0.0104
475	118.6	0.0586	0.1033	-0.0447	0.0689	-0.0103
476	118.85	0.0583	0.1029	-0.0446	0.0685	-0.0102
477	119.1	0.0581	0.1025	-0.0444	0.0681	-0.01
478	119.35	0.0578	0.1021	-0.0443	0.0678	-0.01
479	119.6	0.0576	0.1017	-0.0441	0.0674	-0.0098
480	119.85	0.0573	0.1013	-0.044	0.067	-0.0097
481	120.1	0.057	0.1008	-0.0438	0.0667	-0.0096
482	120.35	0.0567	0.1004	-0.0437	0.0663	-0.0096
483	120.6	0.0565	0.1	-0.0436	0.0659	-0.0095
484	120.85	0.0561	0.0996	-0.0436	0.0656	-0.0095
485	121.1	0.0558	0.0992	-0.0434	0.0652	-0.0094
486	121.35	0.0555	0.0988	-0.0434	0.0649	-0.0094
487	121.6	0.0552	0.0984	-0.0433	0.0645	-0.0094
488	121.85	0.0547	0.0981	-0.0433	0.0642	-0.0094

Apêndice F2 - Resultados dos Modelos 3 e 4 para o Teste 1 (T=29,9°C e UR=35,7%)

Tempo de secagem = 121,85 horas

Raio inicial = 0,01613 m

Coefficiente de difusão (Modelo 3) = $4,500 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{h}$

Coefficiente de difusão (Modelo 4) = $5,330 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{h}$

Coefficiente convectivo (Modelo 4) = 0,001150 m/h

N	t (h)	REAL	MODELO 3		MODELO 4	
			CALC.	RES.	CALC.	RES.
1	0	1	0.9833	0.0167	0.9922	0.0078
2	0.25	0.99	0.9558	0.0343	0.9762	0.0138
3	0.5	0.9814	0.9382	0.0432	0.9628	0.0186
4	0.75	0.9736	0.9245	0.0492	0.9513	0.0224
5	1	0.9653	0.9128	0.0525	0.9409	0.0244
6	1.25	0.9569	0.9025	0.0544	0.9314	0.0255
7	1.5	0.9492	0.8931	0.0561	0.9225	0.0267
8	1.75	0.9422	0.8844	0.0578	0.9142	0.028
9	2	0.9349	0.8763	0.0586	0.9063	0.0286
10	2.25	0.9275	0.8687	0.0588	0.8988	0.0287
11	2.5	0.9205	0.8614	0.059	0.8917	0.0288
12	2.75	0.914	0.8545	0.0595	0.8848	0.0293
13	3	0.9077	0.8479	0.0597	0.8781	0.0296
14	3.25	0.9008	0.8416	0.0592	0.8717	0.0291
15	3.5	0.8943	0.8354	0.0588	0.8655	0.0288
16	3.75	0.8882	0.8295	0.0587	0.8594	0.0288
17	4	0.8824	0.8238	0.0587	0.8536	0.0289
18	4.25	0.8761	0.8182	0.058	0.8479	0.0283
19	4.5	0.8699	0.8127	0.0572	0.8423	0.0277
20	4.75	0.8642	0.8075	0.0568	0.8368	0.0274
21	5	0.8588	0.8023	0.0565	0.8315	0.0273
22	5.25	0.8531	0.7972	0.0559	0.8263	0.0268
23	5.5	0.8473	0.7923	0.055	0.8212	0.0262
24	5.75	0.8419	0.7875	0.0544	0.8162	0.0257
25	6	0.8366	0.7827	0.0538	0.8112	0.0253
26	6.25	0.8315	0.7781	0.0534	0.8064	0.0251
27	6.5	0.8259	0.7735	0.0524	0.8017	0.0243
28	6.75	0.8207	0.769	0.0517	0.797	0.0237
29	7.05	0.8148	0.7646	0.0501	0.7924	0.0224
30	7.35	0.8089	0.7603	0.0486	0.7879	0.021
31	7.6	0.8038	0.756	0.0478	0.7834	0.0204
32	7.85	0.7988	0.7518	0.047	0.779	0.0198
33	8.1	0.7941	0.7477	0.0464	0.7747	0.0194
34	8.35	0.7896	0.7436	0.046	0.7704	0.0192
35	8.6	0.7847	0.7396	0.0451	0.7662	0.0186
36	8.85	0.7799	0.7356	0.0443	0.762	0.0179
37	9.1	0.7753	0.7317	0.0436	0.7579	0.0175
38	9.35	0.771	0.7278	0.0432	0.7538	0.0172
39	9.6	0.7665	0.724	0.0425	0.7498	0.0167
40	9.85	0.7618	0.7202	0.0416	0.7458	0.0161
41	10.1	0.7574	0.7165	0.041	0.7419	0.0156
42	10.35	0.7533	0.7128	0.0405	0.738	0.0153
43	10.6	0.7491	0.7091	0.04	0.7341	0.015
44	10.85	0.7446	0.7055	0.0391	0.7303	0.0143
45	11.1	0.7404	0.702	0.0384	0.7265	0.0139
46	11.35	0.7363	0.6984	0.0379	0.7228	0.0135
47	11.6	0.7323	0.6949	0.0374	0.7191	0.0132
48	11.85	0.7281	0.6914	0.0367	0.7154	0.0127
49	12.1	0.7239	0.688	0.0359	0.7118	0.0121
50	12.35	0.72	0.6846	0.0354	0.7082	0.0118

51	12.6	0.7162	0.6812	0.035	0.7046	0.0116
52	12.85	0.7121	0.6779	0.0343	0.701	0.0111
53	13.1	0.7081	0.6746	0.0336	0.6975	0.0106
54	13.35	0.7044	0.6713	0.0331	0.6941	0.0103
55	13.6	0.7006	0.668	0.0326	0.6906	0.01
56	13.85	0.6968	0.6648	0.032	0.6872	0.0096
57	14.1	0.6929	0.6616	0.0313	0.6838	0.0091
58	14.35	0.6891	0.6584	0.0307	0.6804	0.0087
59	14.6	0.6855	0.6552	0.0303	0.677	0.0085
60	14.85	0.6819	0.6521	0.0298	0.6737	0.0082
61	15.1	0.6782	0.649	0.0292	0.6704	0.0077
62	15.35	0.6744	0.6459	0.0285	0.6671	0.0073
63	15.6	0.6709	0.6428	0.0281	0.6639	0.007
64	15.85	0.6676	0.6398	0.0278	0.6607	0.0069
65	16.1	0.6639	0.6368	0.0271	0.6574	0.0064
66	16.35	0.6603	0.6338	0.0265	0.6543	0.006
67	16.6	0.6569	0.6308	0.0261	0.6511	0.0058
68	16.85	0.6534	0.6278	0.0256	0.6479	0.0055
69	17.1	0.65	0.6249	0.0251	0.6448	0.0052
70	17.35	0.6465	0.622	0.0245	0.6417	0.0048
71	17.6	0.6431	0.6191	0.024	0.6386	0.0044
72	17.85	0.6398	0.6162	0.0236	0.6355	0.0043
73	18.1	0.6365	0.6133	0.0232	0.6325	0.004
74	18.35	0.6331	0.6105	0.0226	0.6295	0.0036
75	18.6	0.6298	0.6077	0.0221	0.6264	0.0033
76	18.85	0.6265	0.6048	0.0216	0.6234	0.003
77	19.1	0.6234	0.602	0.0213	0.6205	0.0029
78	19.35	0.62	0.5993	0.0208	0.6175	0.0025
79	19.6	0.6167	0.5965	0.0202	0.6145	0.0021
80	19.85	0.6135	0.5937	0.0198	0.6116	0.0019
81	20.1	0.6103	0.591	0.0193	0.6087	0.0016
82	20.35	0.6071	0.5883	0.0189	0.6058	0.0013
83	20.6	0.6038	0.5856	0.0182	0.6029	0.0009
84	20.85	0.6007	0.5829	0.0178	0.6	0.0007
85	21.1	0.5977	0.5802	0.0175	0.5972	0.0005
86	21.35	0.5946	0.5776	0.0171	0.5943	0.0003
87	21.6	0.5914	0.5749	0.0165	0.5915	-0.0001
88	21.85	0.5883	0.5723	0.016	0.5887	-0.0004
89	22.1	0.5853	0.5696	0.0156	0.5859	-0.0006
90	22.35	0.5823	0.567	0.0153	0.5831	-0.0008
91	22.6	0.5791	0.5644	0.0147	0.5803	-0.0012
92	22.85	0.576	0.5619	0.0142	0.5776	-0.0016
93	23.1	0.5731	0.5593	0.0138	0.5748	-0.0017
94	23.35	0.5702	0.5567	0.0134	0.5721	-0.0019
95	23.6	0.5671	0.5542	0.0129	0.5694	-0.0022
96	23.85	0.564	0.5517	0.0124	0.5667	-0.0026
97	24.1	0.5611	0.5491	0.012	0.564	-0.0029
98	24.35	0.5583	0.5466	0.0117	0.5613	-0.003
99	24.6	0.5555	0.5441	0.0113	0.5586	-0.0032
100	24.85	0.5524	0.5416	0.0108	0.556	-0.0035
101	25.1	0.5495	0.5392	0.0103	0.5533	-0.0038
102	25.35	0.5467	0.5367	0.01	0.5507	-0.004
103	25.6	0.5439	0.5342	0.0096	0.548	-0.0042
104	25.85	0.5409	0.5318	0.0091	0.5454	-0.0045
105	26.1	0.5379	0.5294	0.0085	0.5428	-0.0049
106	26.35	0.535	0.5269	0.0081	0.5402	-0.0052
107	26.6	0.5321	0.5245	0.0076	0.5377	-0.0055
108	26.85	0.5293	0.5221	0.0072	0.5351	-0.0057
109	27.1	0.5262	0.5197	0.0065	0.5325	-0.0063
110	27.35	0.5234	0.5173	0.006	0.53	-0.0066
111	27.6	0.5206	0.515	0.0056	0.5274	-0.0068
112	27.85	0.5178	0.5126	0.0052	0.5249	-0.0071
113	28.1	0.515	0.5102	0.0047	0.5224	-0.0074
114	28.35	0.5122	0.5079	0.0043	0.5199	-0.0077
115	28.6	0.5094	0.5056	0.0038	0.5174	-0.0079
116	28.85	0.5067	0.5032	0.0035	0.5149	-0.0081
117	29.1	0.504	0.5009	0.0031	0.5124	-0.0084

118	29.35	0.5012	0.4986	0.0026	0.5099	-0.0087
119	29.6	0.4985	0.4963	0.0022	0.5074	-0.009
120	29.85	0.4958	0.494	0.0018	0.505	-0.0092
121	30.1	0.4932	0.4917	0.0014	0.5025	-0.0094
122	30.35	0.4904	0.4895	0.0009	0.5001	-0.0097
123	30.6	0.4877	0.4872	0.0005	0.4977	-0.01
124	30.85	0.4851	0.4849	0.0001	0.4953	-0.0102
125	31.1	0.4825	0.4827	-0.0002	0.4929	-0.0104
126	31.35	0.4798	0.4805	-0.0007	0.4905	-0.0107
127	31.6	0.4771	0.4782	-0.0011	0.4881	-0.011
128	31.85	0.4744	0.476	-0.0016	0.4857	-0.0113
129	32.1	0.4719	0.4738	-0.0018	0.4833	-0.0114
130	32.35	0.4694	0.4716	-0.0022	0.4809	-0.0115
131	32.6	0.4668	0.4694	-0.0026	0.4786	-0.0118
132	32.85	0.4642	0.4672	-0.003	0.4762	-0.012
133	33.1	0.4617	0.465	-0.0033	0.4739	-0.0121
134	33.35	0.4592	0.4628	-0.0036	0.4715	-0.0123
135	33.6	0.4567	0.4606	-0.004	0.4692	-0.0125
136	33.85	0.4541	0.4585	-0.0044	0.4669	-0.0128
137	34.1	0.4515	0.4563	-0.0048	0.4646	-0.0131
138	34.35	0.4491	0.4542	-0.0051	0.4623	-0.0132
139	34.6	0.4466	0.452	-0.0054	0.46	-0.0134
140	34.85	0.4441	0.4499	-0.0058	0.4577	-0.0136
141	35.1	0.4416	0.4478	-0.0062	0.4554	-0.0138
142	35.35	0.4391	0.4457	-0.0065	0.4531	-0.014
143	35.6	0.4367	0.4436	-0.0069	0.4509	-0.0142
144	35.85	0.4342	0.4414	-0.0072	0.4486	-0.0144
145	36.1	0.4318	0.4393	-0.0076	0.4464	-0.0146
146	36.35	0.4293	0.4373	-0.0079	0.4441	-0.0148
147	36.6	0.427	0.4352	-0.0082	0.4419	-0.0149
148	36.85	0.4247	0.4331	-0.0084	0.4397	-0.015
149	37.1	0.4222	0.431	-0.0088	0.4374	-0.0152
150	37.35	0.4198	0.429	-0.0092	0.4352	-0.0154
151	37.6	0.4175	0.4269	-0.0094	0.433	-0.0155
152	37.85	0.4152	0.4248	-0.0097	0.4308	-0.0156
153	38.1	0.4129	0.4228	-0.0099	0.4286	-0.0157
154	38.35	0.4105	0.4208	-0.0103	0.4264	-0.016
155	38.6	0.4081	0.4187	-0.0106	0.4243	-0.0162
156	38.85	0.4059	0.4167	-0.0108	0.4221	-0.0162
157	39.1	0.4037	0.4147	-0.011	0.4199	-0.0162
158	39.35	0.4014	0.4127	-0.0113	0.4178	-0.0164
159	39.6	0.3991	0.4107	-0.0116	0.4156	-0.0165
160	39.85	0.3969	0.4087	-0.0118	0.4135	-0.0165
161	40.1	0.3947	0.4067	-0.012	0.4113	-0.0166
162	40.35	0.3926	0.4047	-0.0121	0.4092	-0.0166
163	40.6	0.3903	0.4027	-0.0124	0.4071	-0.0168
164	40.85	0.3882	0.4007	-0.0126	0.4049	-0.0168
165	41.1	0.3861	0.3988	-0.0127	0.4028	-0.0168
166	41.35	0.3841	0.3968	-0.0127	0.4007	-0.0166
167	41.6	0.3819	0.3948	-0.013	0.3986	-0.0167
168	41.85	0.3798	0.3929	-0.0131	0.3965	-0.0168
169	42.1	0.3777	0.3909	-0.0132	0.3944	-0.0167
170	42.35	0.3758	0.389	-0.0132	0.3924	-0.0166
171	42.6	0.3736	0.3871	-0.0134	0.3903	-0.0166
172	42.85	0.3716	0.3851	-0.0135	0.3882	-0.0166
173	43.1	0.3696	0.3832	-0.0137	0.3861	-0.0166
174	43.35	0.3676	0.3813	-0.0137	0.3841	-0.0165
175	43.6	0.3656	0.3794	-0.0138	0.382	-0.0164
176	43.85	0.3637	0.3775	-0.0138	0.38	-0.0163
177	44.1	0.3617	0.3756	-0.0139	0.378	-0.0162
178	44.35	0.3598	0.3737	-0.0139	0.3759	-0.0162
179	44.6	0.3579	0.3718	-0.0139	0.3739	-0.016
180	44.85	0.3558	0.3699	-0.0141	0.3719	-0.016
181	45.1	0.3539	0.368	-0.0142	0.3699	-0.016
182	45.35	0.352	0.3662	-0.0142	0.3679	-0.0159
183	45.6	0.3501	0.3643	-0.0142	0.3659	-0.0157
184	45.85	0.3483	0.3625	-0.0142	0.3639	-0.0156

185	46.1	0.3463	0.3606	-0.0143	0.3619	-0.0156
186	46.35	0.3443	0.3587	-0.0144	0.3599	-0.0156
187	46.6	0.3425	0.3569	-0.0145	0.3579	-0.0155
188	46.85	0.3407	0.3551	-0.0144	0.356	-0.0153
189	47.1	0.3388	0.3532	-0.0145	0.354	-0.0152
190	47.35	0.3369	0.3514	-0.0145	0.3521	-0.0151
191	47.6	0.335	0.3496	-0.0146	0.3501	-0.0151
192	47.85	0.3332	0.3478	-0.0145	0.3482	-0.0149
193	48.1	0.3314	0.346	-0.0145	0.3462	-0.0148
194	48.35	0.3296	0.3442	-0.0146	0.3443	-0.0147
195	48.6	0.3276	0.3424	-0.0148	0.3424	-0.0148
196	48.85	0.3257	0.3406	-0.0148	0.3404	-0.0147
197	49.1	0.3239	0.3388	-0.0149	0.3385	-0.0146
198	49.35	0.3221	0.337	-0.0149	0.3366	-0.0145
199	49.6	0.3202	0.3352	-0.015	0.3347	-0.0145
200	49.85	0.3183	0.3334	-0.0151	0.3328	-0.0145
201	50.1	0.3164	0.3317	-0.0153	0.3309	-0.0145
202	50.35	0.3145	0.3299	-0.0154	0.329	-0.0145
203	50.6	0.3127	0.3282	-0.0155	0.3272	-0.0145
204	50.85	0.3108	0.3264	-0.0156	0.3253	-0.0145
205	51.1	0.3089	0.3247	-0.0158	0.3234	-0.0145
206	51.35	0.307	0.3229	-0.0159	0.3216	-0.0145
207	51.6	0.3051	0.3212	-0.0161	0.3197	-0.0146
208	51.85	0.3033	0.3194	-0.0162	0.3179	-0.0146
209	52.1	0.3015	0.3177	-0.0162	0.316	-0.0145
210	52.35	0.2996	0.316	-0.0164	0.3142	-0.0146
211	52.6	0.2978	0.3143	-0.0165	0.3123	-0.0145
212	52.85	0.296	0.3126	-0.0166	0.3105	-0.0145
213	53.1	0.2942	0.3109	-0.0167	0.3087	-0.0145
214	53.35	0.2925	0.3092	-0.0167	0.3069	-0.0144
215	53.6	0.2907	0.3075	-0.0168	0.3051	-0.0144
216	53.85	0.2889	0.3058	-0.0169	0.3033	-0.0144
217	54.1	0.2872	0.3041	-0.0169	0.3015	-0.0143
218	54.35	0.2856	0.3024	-0.0169	0.2997	-0.0141
219	54.6	0.2838	0.3008	-0.017	0.2979	-0.0141
220	54.85	0.282	0.2991	-0.0171	0.2961	-0.0142
221	55.1	0.2803	0.2974	-0.0171	0.2943	-0.014
222	55.35	0.2787	0.2958	-0.0171	0.2926	-0.0139
223	55.6	0.277	0.2941	-0.0171	0.2908	-0.0138
224	55.85	0.2753	0.2925	-0.0172	0.2891	-0.0138
225	56.1	0.2735	0.2908	-0.0173	0.2873	-0.0138
226	56.35	0.2718	0.2892	-0.0174	0.2856	-0.0137
227	56.6	0.2703	0.2876	-0.0173	0.2838	-0.0136
228	56.85	0.2686	0.2859	-0.0174	0.2821	-0.0135
229	57.1	0.2669	0.2843	-0.0174	0.2804	-0.0134
230	57.35	0.2653	0.2827	-0.0174	0.2787	-0.0134
231	57.6	0.2638	0.2811	-0.0173	0.277	-0.0132
232	57.85	0.2622	0.2795	-0.0173	0.2752	-0.013
233	58.1	0.2606	0.2779	-0.0173	0.2735	-0.013
234	58.35	0.2589	0.2763	-0.0173	0.2719	-0.0129
235	58.6	0.2575	0.2747	-0.0172	0.2702	-0.0127
236	58.85	0.2559	0.2731	-0.0172	0.2685	-0.0126
237	59.1	0.2544	0.2715	-0.0172	0.2668	-0.0124
238	59.35	0.2527	0.27	-0.0172	0.2651	-0.0124
239	59.6	0.2512	0.2684	-0.0172	0.2635	-0.0123
240	59.85	0.2497	0.2668	-0.0171	0.2618	-0.0121
241	60.1	0.2482	0.2653	-0.017	0.2602	-0.0119
242	60.35	0.2466	0.2637	-0.0171	0.2585	-0.0119
243	60.6	0.2451	0.2622	-0.0171	0.2569	-0.0118
244	60.85	0.2437	0.2606	-0.0169	0.2552	-0.0116
245	61.1	0.2422	0.2591	-0.0169	0.2536	-0.0114
246	61.35	0.2407	0.2575	-0.0168	0.252	-0.0113
247	61.6	0.2393	0.256	-0.0168	0.2504	-0.0111
248	61.85	0.2378	0.2545	-0.0167	0.2488	-0.011
249	62.1	0.2364	0.253	-0.0166	0.2472	-0.0108
250	62.35	0.235	0.2515	-0.0165	0.2456	-0.0105
251	62.6	0.2336	0.25	-0.0163	0.244	-0.0103

252	62.85	0.2322	0.2485	-0.0162	0.2424	-0.0101
253	63.1	0.2308	0.247	-0.0162	0.2408	-0.01
254	63.35	0.2295	0.2455	-0.016	0.2392	-0.0098
255	63.6	0.2281	0.244	-0.0159	0.2377	-0.0096
256	63.85	0.2267	0.2425	-0.0158	0.2361	-0.0094
257	64.1	0.2253	0.241	-0.0157	0.2345	-0.0092
258	64.35	0.224	0.2396	-0.0156	0.233	-0.009
259	64.6	0.2228	0.2381	-0.0153	0.2314	-0.0087
260	64.85	0.2215	0.2366	-0.0152	0.2299	-0.0085
261	65.1	0.2202	0.2352	-0.015	0.2284	-0.0081
262	65.35	0.219	0.2337	-0.0147	0.2269	-0.0078
263	65.6	0.2178	0.2323	-0.0145	0.2253	-0.0076
264	65.85	0.2166	0.2309	-0.0143	0.2238	-0.0073
265	66.1	0.2153	0.2294	-0.0141	0.2223	-0.007
266	66.35	0.214	0.228	-0.014	0.2208	-0.0068
267	66.6	0.2129	0.2266	-0.0137	0.2193	-0.0064
268	66.85	0.2117	0.2252	-0.0134	0.2178	-0.0061
269	67.1	0.2105	0.2238	-0.0132	0.2164	-0.0058
270	67.35	0.2093	0.2223	-0.0131	0.2149	-0.0056
271	67.6	0.2082	0.2209	-0.0127	0.2134	-0.0052
272	67.85	0.2072	0.2196	-0.0124	0.212	-0.0048
273	68.1	0.206	0.2182	-0.0122	0.2105	-0.0046
274	68.35	0.2048	0.2168	-0.012	0.2091	-0.0042
275	68.6	0.2037	0.2154	-0.0117	0.2076	-0.0039
276	68.85	0.2026	0.214	-0.0114	0.2062	-0.0036
277	69.1	0.2015	0.2127	-0.0111	0.2047	-0.0032
278	69.35	0.2003	0.2113	-0.011	0.2033	-0.003
279	69.6	0.1992	0.2099	-0.0108	0.2019	-0.0027
280	69.85	0.1981	0.2086	-0.0105	0.2005	-0.0024
281	70.1	0.1971	0.2072	-0.0102	0.1991	-0.002
282	70.35	0.196	0.2059	-0.0099	0.1977	-0.0017
283	70.6	0.1949	0.2046	-0.0096	0.1963	-0.0014
284	70.85	0.1938	0.2032	-0.0095	0.1949	-0.0011
285	71.1	0.1926	0.2019	-0.0093	0.1935	-0.0009
286	71.35	0.1916	0.2006	-0.009	0.1922	-0.0006
287	71.6	0.1905	0.1993	-0.0088	0.1908	-0.0003
288	71.85	0.1895	0.198	-0.0085	0.1894	0
289	72.1	0.1883	0.1967	-0.0084	0.1881	0.0002
290	72.35	0.1873	0.1954	-0.0081	0.1867	0.0005
291	72.6	0.1861	0.1941	-0.008	0.1854	0.0007
292	72.85	0.1851	0.1928	-0.0077	0.184	0.0011
293	73.1	0.184	0.1915	-0.0075	0.1827	0.0013
294	73.35	0.1828	0.1902	-0.0074	0.1814	0.0015
295	73.6	0.1817	0.189	-0.0073	0.1801	0.0016
296	73.85	0.1806	0.1877	-0.0071	0.1788	0.0018
297	74.1	0.1793	0.1864	-0.0071	0.1775	0.0019
298	74.35	0.1782	0.1852	-0.007	0.1762	0.002
299	74.6	0.177	0.1839	-0.007	0.1749	0.0021
300	74.85	0.1758	0.1827	-0.0069	0.1736	0.0022
301	75.1	0.1746	0.1815	-0.0069	0.1723	0.0023
302	75.35	0.1734	0.1802	-0.0069	0.171	0.0023
303	75.6	0.1722	0.179	-0.0068	0.1698	0.0025
304	75.85	0.1711	0.1778	-0.0067	0.1685	0.0026
305	76.1	0.1699	0.1766	-0.0066	0.1673	0.0027
306	76.35	0.1687	0.1754	-0.0066	0.166	0.0027
307	76.6	0.1676	0.1741	-0.0066	0.1648	0.0028
308	76.85	0.1665	0.173	-0.0064	0.1635	0.003
309	77.1	0.1653	0.1718	-0.0065	0.1623	0.003
310	77.35	0.1642	0.1706	-0.0063	0.1611	0.0031
311	77.6	0.1632	0.1694	-0.0062	0.1599	0.0033
312	77.85	0.1621	0.1682	-0.0061	0.1587	0.0034
313	78.1	0.161	0.167	-0.0061	0.1575	0.0035
314	78.35	0.1599	0.1659	-0.006	0.1563	0.0036
315	78.6	0.1588	0.1647	-0.0059	0.1551	0.0038
316	78.85	0.1578	0.1636	-0.0058	0.1539	0.0039
317	79.1	0.1567	0.1624	-0.0057	0.1527	0.004
318	79.35	0.1557	0.1613	-0.0056	0.1515	0.0041

319	79.6	0.1547	0.1601	-0.0054	0.1504	0.0043
320	79.85	0.1536	0.159	-0.0054	0.1492	0.0044
321	80.1	0.1526	0.1579	-0.0052	0.1481	0.0046
322	80.35	0.1517	0.1567	-0.0051	0.1469	0.0047
323	80.6	0.1506	0.1556	-0.005	0.1458	0.0048
324	80.85	0.1496	0.1545	-0.0049	0.1447	0.005
325	81.1	0.1486	0.1534	-0.0048	0.1435	0.0051
326	81.35	0.1477	0.1523	-0.0047	0.1424	0.0052
327	81.6	0.1467	0.1512	-0.0045	0.1413	0.0054
328	81.85	0.1457	0.1501	-0.0044	0.1402	0.0055
329	82.1	0.1448	0.149	-0.0042	0.1391	0.0057
330	82.35	0.1439	0.148	-0.0041	0.138	0.0059
331	82.6	0.1428	0.1469	-0.0041	0.1369	0.0059
332	82.85	0.1419	0.1458	-0.0039	0.1358	0.0061
333	83.1	0.141	0.1448	-0.0038	0.1348	0.0062
334	83.35	0.1401	0.1437	-0.0036	0.1337	0.0064
335	83.6	0.1392	0.1427	-0.0035	0.1326	0.0065
336	83.85	0.1383	0.1416	-0.0033	0.1316	0.0067
337	84.1	0.1374	0.1406	-0.0032	0.1305	0.0069
338	84.35	0.1365	0.1395	-0.0031	0.1295	0.007
339	84.6	0.1356	0.1385	-0.0029	0.1284	0.0071
340	84.85	0.1347	0.1375	-0.0028	0.1274	0.0073
341	85.1	0.1338	0.1365	-0.0027	0.1264	0.0074
342	85.35	0.1328	0.1355	-0.0027	0.1254	0.0074
343	85.6	0.1321	0.1345	-0.0024	0.1243	0.0077
344	85.85	0.1312	0.1335	-0.0023	0.1233	0.0078
345	86.1	0.1303	0.1325	-0.0022	0.1223	0.0079
346	86.35	0.1294	0.1315	-0.0021	0.1213	0.008
347	86.6	0.1286	0.1305	-0.0019	0.1203	0.0082
348	86.85	0.1278	0.1295	-0.0017	0.1194	0.0085
349	87.1	0.1269	0.1285	-0.0016	0.1184	0.0085
350	87.35	0.126	0.1276	-0.0015	0.1174	0.0086
351	87.6	0.1252	0.1266	-0.0014	0.1164	0.0088
352	87.85	0.1245	0.1256	-0.0012	0.1155	0.009
353	88.1	0.1237	0.1247	-0.001	0.1145	0.0091
354	88.35	0.1229	0.1237	-0.0008	0.1136	0.0093
355	88.6	0.1222	0.1228	-0.0006	0.1127	0.0095
356	88.85	0.1215	0.1219	-0.0003	0.1117	0.0098
357	89.1	0.1209	0.1209	0	0.1108	0.0101
358	89.35	0.1201	0.12	0.0001	0.1099	0.0103
359	89.6	0.1194	0.1191	0.0003	0.109	0.0105
360	89.85	0.1188	0.1182	0.0006	0.108	0.0107
361	90.1	0.1182	0.1173	0.0009	0.1071	0.011
362	90.35	0.1175	0.1164	0.0012	0.1062	0.0113
363	90.6	0.1169	0.1155	0.0014	0.1053	0.0115
364	90.85	0.1162	0.1146	0.0017	0.1045	0.0118
365	91.1	0.1157	0.1137	0.002	0.1036	0.0121
366	91.35	0.1151	0.1128	0.0023	0.1027	0.0124
367	91.6	0.1144	0.1119	0.0025	0.1018	0.0126
368	91.85	0.1139	0.111	0.0028	0.101	0.0129
369	92.1	0.1133	0.1102	0.0031	0.1001	0.0132
370	92.35	0.1127	0.1093	0.0034	0.0993	0.0135
371	92.6	0.1121	0.1084	0.0037	0.0984	0.0137
372	92.85	0.1116	0.1076	0.004	0.0976	0.014
373	93.1	0.1109	0.1067	0.0042	0.0967	0.0142
374	93.35	0.1104	0.1059	0.0045	0.0959	0.0145
375	93.6	0.1099	0.1051	0.0048	0.0951	0.0148
376	93.85	0.1092	0.1042	0.005	0.0943	0.0149
377	94.1	0.1086	0.1034	0.0052	0.0935	0.0152
378	94.35	0.1081	0.1026	0.0055	0.0927	0.0154
379	94.6	0.1076	0.1018	0.0058	0.0918	0.0157
380	94.85	0.107	0.101	0.006	0.0911	0.0159
381	95.1	0.1064	0.1002	0.0063	0.0903	0.0162
382	95.35	0.1059	0.0994	0.0065	0.0895	0.0164
383	95.6	0.1052	0.0986	0.0066	0.0887	0.0165
384	95.85	0.1046	0.0978	0.0069	0.0879	0.0167
385	96.1	0.1041	0.097	0.0071	0.0872	0.0169

386	96.35	0.1035	0.0962	0.0073	0.0864	0.0171
387	96.6	0.1028	0.0954	0.0074	0.0856	0.0172
388	96.85	0.1022	0.0947	0.0075	0.0849	0.0173
389	97.1	0.1016	0.0939	0.0077	0.0841	0.0175
390	97.35	0.101	0.0931	0.0078	0.0834	0.0175
391	97.6	0.1004	0.0924	0.008	0.0827	0.0177
392	97.85	0.0996	0.0916	0.008	0.0819	0.0176
393	98.1	0.0989	0.0909	0.008	0.0812	0.0177
394	98.35	0.0982	0.0901	0.0081	0.0805	0.0177
395	98.6	0.0974	0.0894	0.0081	0.0798	0.0177
396	98.85	0.0967	0.0887	0.0081	0.0791	0.0176
397	99.1	0.0961	0.0879	0.0081	0.0784	0.0177
398	99.35	0.0953	0.0872	0.0081	0.0777	0.0176
399	99.6	0.0946	0.0865	0.0081	0.077	0.0176
400	99.85	0.0939	0.0858	0.0081	0.0763	0.0176
401	100.1	0.0931	0.0851	0.008	0.0756	0.0175
402	100.35	0.0925	0.0844	0.0081	0.0749	0.0175
403	100.6	0.0917	0.0837	0.0081	0.0743	0.0175
404	100.85	0.0911	0.083	0.0081	0.0736	0.0175
405	101.1	0.0903	0.0823	0.0081	0.0729	0.0174
406	101.35	0.0897	0.0816	0.0081	0.0723	0.0174
407	101.6	0.089	0.0809	0.0081	0.0716	0.0174
408	101.85	0.0884	0.0803	0.0081	0.071	0.0174
409	102.1	0.0878	0.0796	0.0082	0.0703	0.0175
410	102.35	0.0872	0.0789	0.0083	0.0697	0.0175
411	102.6	0.0867	0.0783	0.0084	0.0691	0.0176
412	102.85	0.086	0.0776	0.0084	0.0684	0.0176
413	103.1	0.0854	0.0769	0.0084	0.0678	0.0175
414	103.35	0.0848	0.0763	0.0085	0.0672	0.0176
415	103.6	0.0841	0.0757	0.0085	0.0666	0.0175
416	103.85	0.0837	0.075	0.0086	0.066	0.0177
417	104.1	0.083	0.0744	0.0086	0.0654	0.0176
418	104.35	0.0824	0.0738	0.0087	0.0648	0.0176
419	104.6	0.0819	0.0731	0.0087	0.0642	0.0177
420	104.85	0.0814	0.0725	0.0088	0.0636	0.0178
421	105.1	0.0809	0.0719	0.009	0.063	0.0179
422	105.35	0.0803	0.0713	0.009	0.0624	0.0179
423	105.6	0.0797	0.0707	0.0091	0.0619	0.0179
424	105.85	0.0792	0.0701	0.0091	0.0613	0.0179
425	106.1	0.0787	0.0695	0.0092	0.0607	0.0179
426	106.35	0.0781	0.0689	0.0092	0.0602	0.0179
427	106.6	0.0776	0.0683	0.0093	0.0596	0.018
428	106.85	0.077	0.0677	0.0093	0.0591	0.018
429	107.1	0.0765	0.0671	0.0093	0.0585	0.018
430	107.35	0.076	0.0666	0.0094	0.058	0.018
431	107.6	0.0754	0.066	0.0094	0.0574	0.018
432	107.85	0.0749	0.0654	0.0095	0.0569	0.018
433	108.1	0.0743	0.0648	0.0095	0.0564	0.018
434	108.35	0.0739	0.0643	0.0096	0.0558	0.018
435	108.6	0.0733	0.0637	0.0095	0.0553	0.018
436	108.85	0.0727	0.0632	0.0095	0.0548	0.0179
437	109.1	0.0721	0.0626	0.0095	0.0543	0.0179
438	109.35	0.0717	0.0621	0.0096	0.0538	0.018
439	109.6	0.0712	0.0616	0.0097	0.0533	0.018
440	109.85	0.0708	0.061	0.0097	0.0528	0.018
441	110.1	0.0702	0.0605	0.0097	0.0523	0.0179
442	110.35	0.0697	0.06	0.0097	0.0518	0.0179
443	110.6	0.0692	0.0594	0.0098	0.0513	0.0179
444	110.85	0.0686	0.0589	0.0097	0.0508	0.0178
445	111.1	0.0681	0.0584	0.0097	0.0503	0.0178
446	111.35	0.0676	0.0579	0.0098	0.0499	0.0178
447	111.6	0.0672	0.0574	0.0098	0.0494	0.0178
448	111.85	0.0667	0.0569	0.0099	0.0489	0.0178
449	112.1	0.0663	0.0564	0.0099	0.0484	0.0178
450	112.35	0.0659	0.0559	0.01	0.048	0.0179
451	112.6	0.0654	0.0554	0.0101	0.0475	0.0179
452	112.85	0.0651	0.0549	0.0102	0.0471	0.018

453	113.1	0.0647	0.0544	0.0103	0.0466	0.0181
454	113.35	0.0643	0.0539	0.0104	0.0462	0.0181
455	113.6	0.064	0.0535	0.0105	0.0457	0.0182
456	113.85	0.0636	0.053	0.0107	0.0453	0.0183
457	114.1	0.0633	0.0525	0.0108	0.0449	0.0184
458	114.35	0.0631	0.052	0.011	0.0444	0.0186
459	114.6	0.0628	0.0516	0.0112	0.044	0.0188
460	114.85	0.0626	0.0511	0.0115	0.0436	0.019
461	115.1	0.0624	0.0507	0.0118	0.0432	0.0192
462	115.35	0.0622	0.0502	0.012	0.0428	0.0194
463	115.6	0.0619	0.0498	0.0121	0.0424	0.0195
464	115.85	0.0616	0.0493	0.0123	0.0419	0.0197
465	116.1	0.0614	0.0489	0.0125	0.0415	0.0198
466	116.35	0.0611	0.0484	0.0127	0.0411	0.02
467	116.6	0.0609	0.048	0.0129	0.0407	0.0201
468	116.85	0.0605	0.0476	0.013	0.0404	0.0202
469	117.1	0.0603	0.0472	0.0131	0.04	0.0203
470	117.35	0.06	0.0467	0.0132	0.0396	0.0204
471	117.6	0.0597	0.0463	0.0134	0.0392	0.0205
472	117.85	0.0594	0.0459	0.0135	0.0388	0.0206
473	118.1	0.0592	0.0455	0.0137	0.0384	0.0207
474	118.35	0.0589	0.0451	0.0138	0.0381	0.0208
475	118.6	0.0586	0.0447	0.0139	0.0377	0.0209
476	118.85	0.0583	0.0443	0.0141	0.0373	0.021
477	119.1	0.0581	0.0439	0.0142	0.037	0.0211
478	119.35	0.0578	0.0435	0.0143	0.0366	0.0212
479	119.6	0.0576	0.0431	0.0145	0.0362	0.0214
480	119.85	0.0573	0.0427	0.0146	0.0359	0.0214
481	120.1	0.057	0.0423	0.0147	0.0355	0.0215
482	120.35	0.0567	0.0419	0.0148	0.0352	0.0215
483	120.6	0.0565	0.0415	0.0149	0.0349	0.0216
484	120.85	0.0561	0.0411	0.0149	0.0345	0.0215
485	121.1	0.0558	0.0408	0.015	0.0342	0.0216
486	121.35	0.0555	0.0404	0.0151	0.0338	0.0216
487	121.6	0.0552	0.04	0.0151	0.0335	0.0216
488	121.85	0.0547	0.0397	0.0151	0.0332	0.0216

Apêndice F3 - Resultados dos Modelos 1 e 2 para o Teste 2 (T=39,9°C e UR=19,3%)

Tempo de secagem = 72 horas

Raio inicial = 0,01569 m

Coefficiente de difusão (Modelo 1) = $1,015 \times 10^{-6}$ m²/h

Coefficiente de difusão (Modelo 2) = $2,0141 \times 10^{-6}$ m²/h

Coefficiente convectivo (Modelo 2) = 0,000598 m/h

N	t(h)	REAL	MODELO 1		MODELO 2	
			CALC.	RES.	CALC.	RES.
1	0.0000	1.0000	0.9833	0.0167	0.9983	0.0017
2	0.2500	0.9876	0.9277	0.0598	0.9823	0.0052
3	0.5000	0.9746	0.8990	0.0756	0.9680	0.0066
4	0.7500	0.9628	0.8771	0.0857	0.9547	0.0082
5	1.0000	0.9506	0.8588	0.0918	0.9421	0.0085
6	1.2500	0.9389	0.8428	0.0961	0.9301	0.0088
7	1.5000	0.9283	0.8285	0.0998	0.9187	0.0096
8	1.7500	0.9171	0.8153	0.1017	0.9077	0.0094
9	2.0000	0.9068	0.8032	0.1036	0.8970	0.0098
10	2.2500	0.8969	0.7918	0.1051	0.8868	0.0101
11	2.5000	0.8868	0.7811	0.1056	0.8768	0.0100
12	2.7500	0.8774	0.7710	0.1063	0.8671	0.0103
13	3.0000	0.8684	0.7614	0.1069	0.8577	0.0107
14	3.2500	0.8590	0.7523	0.1067	0.8485	0.0105
15	3.5000	0.8501	0.7435	0.1066	0.8395	0.0106
16	3.7500	0.8416	0.7350	0.1066	0.8307	0.0109
17	4.0000	0.8330	0.7269	0.1060	0.8222	0.0108
18	4.3000	0.8232	0.7191	0.1041	0.8138	0.0094
19	4.5500	0.8151	0.7115	0.1035	0.8056	0.0095
20	4.8000	0.8070	0.7042	0.1028	0.7976	0.0094
21	5.0500	0.7993	0.6970	0.1023	0.7897	0.0096
22	5.3000	0.7918	0.6901	0.1016	0.7819	0.0098
23	5.5500	0.7844	0.6834	0.1010	0.7744	0.0100
24	5.8000	0.7770	0.6768	0.1002	0.7669	0.0101
25	6.0500	0.7697	0.6705	0.0993	0.7596	0.0102
26	6.3000	0.7624	0.6642	0.0982	0.7524	0.0100
27	6.5500	0.7552	0.6581	0.0970	0.7453	0.0099
28	6.8000	0.7479	0.6522	0.0957	0.7383	0.0096
29	7.0500	0.7410	0.6464	0.0946	0.7314	0.0095
30	7.2667	0.7349	0.6407	0.0943	0.7247	0.0102
31	7.4833	0.7289	0.6351	0.0938	0.7180	0.0109
32	7.7333	0.7221	0.6296	0.0925	0.7115	0.0106
33	7.9833	0.7156	0.6243	0.0913	0.7050	0.0105
34	8.2333	0.7088	0.6190	0.0898	0.6987	0.0102
35	8.4833	0.7024	0.6139	0.0886	0.6924	0.0101

36	8.7333	0.6961	0.6088	0.0873	0.6862	0.0099
37	8.9833	0.6897	0.6038	0.0859	0.6801	0.0097
38	9.2333	0.6835	0.5989	0.0846	0.6741	0.0095
39	9.4833	0.6775	0.5941	0.0833	0.6681	0.0093
40	9.7333	0.6712	0.5894	0.0818	0.6622	0.0090
41	9.9833	0.6653	0.5847	0.0806	0.6564	0.0089
42	10.2333	0.6595	0.5801	0.0793	0.6507	0.0087
43	10.4833	0.6536	0.5756	0.0779	0.6451	0.0085
44	10.7333	0.6478	0.5712	0.0766	0.6395	0.0083
45	10.9833	0.6420	0.5668	0.0753	0.6340	0.0081
46	11.2333	0.6362	0.5625	0.0738	0.6285	0.0077
47	11.4833	0.6306	0.5582	0.0724	0.6231	0.0075
48	11.7333	0.6252	0.5540	0.0712	0.6178	0.0074
49	11.9833	0.6196	0.5499	0.0697	0.6125	0.0071
50	12.2333	0.6142	0.5458	0.0684	0.6073	0.0069
51	12.4833	0.6089	0.5418	0.0672	0.6022	0.0067
52	12.7333	0.6035	0.5378	0.0658	0.5971	0.0064
53	12.9833	0.5982	0.5338	0.0644	0.5921	0.0062
54	13.2333	0.5932	0.5300	0.0632	0.5871	0.0061
55	13.4833	0.5881	0.5261	0.0619	0.5822	0.0059
56	13.7333	0.5829	0.5223	0.0606	0.5773	0.0056
57	13.9833	0.5780	0.5186	0.0594	0.5725	0.0056
58	14.2333	0.5730	0.5149	0.0581	0.5677	0.0053
59	14.4833	0.5681	0.5113	0.0569	0.5630	0.0051
60	14.7333	0.5634	0.5076	0.0558	0.5583	0.0051
61	14.9833	0.5587	0.5041	0.0546	0.5537	0.0050
62	15.2333	0.5538	0.5005	0.0533	0.5491	0.0047
63	15.4833	0.5493	0.4971	0.0522	0.5446	0.0047
64	15.7333	0.5446	0.4936	0.0510	0.5401	0.0045
65	15.9833	0.5399	0.4902	0.0498	0.5356	0.0043
66	16.2333	0.5355	0.4868	0.0487	0.5312	0.0042
67	16.4833	0.5310	0.4835	0.0476	0.5269	0.0041
68	16.7333	0.5264	0.4802	0.0462	0.5226	0.0038
69	16.9833	0.5222	0.4769	0.0453	0.5183	0.0039
70	17.2333	0.5178	0.4736	0.0442	0.5141	0.0038
71	17.4833	0.5134	0.4704	0.0429	0.5099	0.0035
72	17.7333	0.5092	0.4673	0.0419	0.5057	0.0034
73	17.9833	0.5050	0.4641	0.0408	0.5016	0.0033
74	18.2333	0.5007	0.4610	0.0398	0.4975	0.0032
75	18.4833	0.4966	0.4579	0.0387	0.4935	0.0031
76	18.7333	0.4926	0.4549	0.0377	0.4895	0.0031
77	18.9833	0.4885	0.4518	0.0366	0.4855	0.0029
78	19.2333	0.4844	0.4488	0.0356	0.4816	0.0028
79	19.4833	0.4805	0.4459	0.0346	0.4777	0.0028
80	19.7333	0.4764	0.4429	0.0335	0.4739	0.0026
81	19.9833	0.4726	0.4400	0.0326	0.4700	0.0025
82	20.2333	0.4687	0.4371	0.0316	0.4663	0.0025
83	20.4833	0.4648	0.4343	0.0306	0.4625	0.0023

84	20.7333	0.4611	0.4314	0.0297	0.4588	0.0024
85	20.9833	0.4574	0.4286	0.0288	0.4551	0.0023
86	21.2333	0.4537	0.4258	0.0278	0.4514	0.0022
87	21.4833	0.4500	0.4231	0.0270	0.4478	0.0022
88	21.7333	0.4466	0.4203	0.0263	0.4442	0.0024
89	21.9833	0.4430	0.4176	0.0254	0.4407	0.0023
90	22.2333	0.4394	0.4149	0.0244	0.4371	0.0022
91	22.4833	0.4358	0.4123	0.0236	0.4336	0.0022
92	22.7333	0.4322	0.4096	0.0226	0.4302	0.0020
93	22.9833	0.4288	0.4070	0.0218	0.4267	0.0020
94	23.2333	0.4253	0.4044	0.0209	0.4233	0.0020
95	23.4833	0.4219	0.4018	0.0202	0.4199	0.0020
96	23.7333	0.4186	0.3992	0.0193	0.4166	0.0020
97	23.9833	0.4153	0.3967	0.0186	0.4133	0.0020
98	24.2333	0.4119	0.3942	0.0178	0.4100	0.0020
99	24.4833	0.4087	0.3917	0.0170	0.4067	0.0019
100	24.7333	0.4054	0.3892	0.0162	0.4035	0.0019
101	24.9833	0.4021	0.3867	0.0154	0.4003	0.0018
102	25.2333	0.3989	0.3843	0.0146	0.3971	0.0018
103	25.4833	0.3957	0.3819	0.0138	0.3939	0.0018
104	25.7333	0.3924	0.3795	0.0130	0.3908	0.0016
105	25.9833	0.3893	0.3771	0.0122	0.3877	0.0016
106	26.2333	0.3863	0.3747	0.0116	0.3846	0.0017
107	26.4833	0.3832	0.3724	0.0108	0.3815	0.0016
108	26.7333	0.3801	0.3700	0.0101	0.3785	0.0016
109	26.9833	0.3771	0.3677	0.0094	0.3755	0.0016
110	27.2333	0.3741	0.3654	0.0087	0.3725	0.0016
111	27.4833	0.3711	0.3631	0.0079	0.3696	0.0015
112	27.7333	0.3681	0.3609	0.0072	0.3667	0.0015
113	27.9833	0.3651	0.3586	0.0065	0.3637	0.0013
114	28.2333	0.3622	0.3564	0.0058	0.3609	0.0014
115	28.4833	0.3593	0.3542	0.0051	0.3580	0.0013
116	28.7333	0.3563	0.3520	0.0043	0.3552	0.0012
117	28.9833	0.3535	0.3498	0.0037	0.3524	0.0011
118	29.2333	0.3507	0.3477	0.0031	0.3496	0.0011
119	29.4833	0.3480	0.3455	0.0025	0.3468	0.0012
120	29.7333	0.3452	0.3434	0.0019	0.3441	0.0012
121	29.9833	0.3425	0.3412	0.0012	0.3413	0.0011
122	30.2333	0.3397	0.3391	0.0005	0.3386	0.0011
123	30.4833	0.3368	0.3371	-0.0002	0.3360	0.0009
124	30.7333	0.3341	0.3350	-0.0009	0.3333	0.0007
125	30.9833	0.3313	0.3329	-0.0016	0.3307	0.0006
126	31.2333	0.3285	0.3309	-0.0024	0.3281	0.0004
127	31.4833	0.3258	0.3288	-0.0030	0.3255	0.0003
128	31.7333	0.3230	0.3268	-0.0038	0.3229	0.0001
129	31.9833	0.3203	0.3248	-0.0045	0.3203	-0.0000
130	32.2333	0.3177	0.3228	-0.0051	0.3178	-0.0001
131	32.4833	0.3151	0.3209	-0.0057	0.3153	-0.0002

132	32.7333	0.3125	0.3189	-0.0064	0.3128	-0.0003
133	32.9833	0.3099	0.3170	-0.0070	0.3103	-0.0004
134	33.2333	0.3074	0.3150	-0.0076	0.3079	-0.0005
135	33.4833	0.3048	0.3131	-0.0083	0.3055	-0.0007
136	33.7333	0.3023	0.3112	-0.0088	0.3031	-0.0007
137	33.9833	0.2998	0.3093	-0.0095	0.3007	-0.0008
138	34.2333	0.2973	0.3074	-0.0101	0.2983	-0.0010
139	34.4833	0.2949	0.3055	-0.0107	0.2959	-0.0011
140	34.7333	0.2925	0.3037	-0.0112	0.2936	-0.0011
141	34.9833	0.2900	0.3018	-0.0118	0.2913	-0.0013
142	35.2333	0.2877	0.3000	-0.0123	0.2890	-0.0013
143	35.4833	0.2853	0.2982	-0.0129	0.2867	-0.0014
144	35.7333	0.2829	0.2964	-0.0134	0.2845	-0.0015
145	35.9833	0.2806	0.2946	-0.0139	0.2822	-0.0016
146	36.2333	0.2783	0.2928	-0.0145	0.2800	-0.0017
147	36.4833	0.2760	0.2910	-0.0150	0.2778	-0.0018
148	36.7333	0.2737	0.2892	-0.0155	0.2756	-0.0018
149	36.9833	0.2715	0.2875	-0.0160	0.2734	-0.0019
150	37.2333	0.2692	0.2858	-0.0165	0.2713	-0.0021
151	37.4833	0.2670	0.2840	-0.0170	0.2691	-0.0021
152	37.7333	0.2648	0.2823	-0.0175	0.2670	-0.0022
153	37.9833	0.2626	0.2806	-0.0180	0.2649	-0.0023
154	38.2333	0.2605	0.2789	-0.0184	0.2628	-0.0024
155	38.4833	0.2584	0.2772	-0.0189	0.2608	-0.0024
156	38.7333	0.2562	0.2755	-0.0194	0.2587	-0.0025
157	38.9833	0.2542	0.2739	-0.0196	0.2567	-0.0024
158	39.2333	0.2521	0.2722	-0.0201	0.2546	-0.0025
159	39.4833	0.2501	0.2706	-0.0205	0.2526	-0.0025
160	39.7333	0.2481	0.2690	-0.0209	0.2506	-0.0025
161	39.9833	0.2461	0.2673	-0.0213	0.2487	-0.0026
162	40.2333	0.2440	0.2657	-0.0218	0.2467	-0.0027
163	40.4833	0.2420	0.2641	-0.0221	0.2448	-0.0027
164	40.7333	0.2401	0.2625	-0.0224	0.2428	-0.0027
165	40.9833	0.2381	0.2610	-0.0229	0.2409	-0.0028
166	41.2333	0.2361	0.2594	-0.0233	0.2390	-0.0030
167	41.4833	0.2342	0.2578	-0.0236	0.2372	-0.0029
168	41.7333	0.2323	0.2563	-0.0240	0.2353	-0.0030
169	41.9833	0.2304	0.2547	-0.0244	0.2334	-0.0031
170	42.2333	0.2286	0.2532	-0.0246	0.2316	-0.0030
171	42.4833	0.2267	0.2517	-0.0250	0.2298	-0.0031
172	42.7333	0.2248	0.2502	-0.0254	0.2280	-0.0032
173	42.9833	0.2230	0.2487	-0.0257	0.2262	-0.0032
174	43.2333	0.2211	0.2472	-0.0261	0.2244	-0.0033
175	43.4833	0.2193	0.2457	-0.0265	0.2226	-0.0034
176	43.7333	0.2176	0.2442	-0.0267	0.2209	-0.0033
177	43.9833	0.2157	0.2428	-0.0270	0.2191	-0.0034
178	44.2333	0.2140	0.2413	-0.0274	0.2174	-0.0035
179	44.4833	0.2124	0.2399	-0.0275	0.2157	-0.0033

180	44.7333	0.2106	0.2384	-0.0278	0.2140	-0.0034
181	44.9833	0.2089	0.2370	-0.0281	0.2123	-0.0034
182	45.2333	0.2074	0.2356	-0.0282	0.2107	-0.0033
183	45.4833	0.2057	0.2342	-0.0285	0.2090	-0.0033
184	45.7333	0.2041	0.2328	-0.0287	0.2073	-0.0032
185	45.9833	0.2025	0.2314	-0.0289	0.2057	-0.0032
186	46.2333	0.2008	0.2300	-0.0292	0.2041	-0.0033
187	46.4833	0.1992	0.2286	-0.0294	0.2025	-0.0033
188	46.7333	0.1977	0.2272	-0.0295	0.2009	-0.0032
189	46.9833	0.1961	0.2259	-0.0298	0.1993	-0.0032
190	47.2333	0.1946	0.2245	-0.0299	0.1978	-0.0031
191	47.4833	0.1932	0.2232	-0.0300	0.1962	-0.0030
192	47.7333	0.1917	0.2219	-0.0302	0.1947	-0.0030
193	47.9833	0.1902	0.2205	-0.0303	0.1931	-0.0029
194	48.2333	0.1888	0.2192	-0.0304	0.1916	-0.0028
195	48.4833	0.1874	0.2179	-0.0305	0.1901	-0.0027
196	48.7333	0.1859	0.2166	-0.0307	0.1886	-0.0027
197	48.9833	0.1846	0.2153	-0.0307	0.1871	-0.0025
198	49.2333	0.1831	0.2140	-0.0309	0.1856	-0.0026
199	49.4833	0.1817	0.2127	-0.0310	0.1842	-0.0024
200	49.7333	0.1804	0.2115	-0.0311	0.1827	-0.0023
201	49.9833	0.1790	0.2102	-0.0312	0.1813	-0.0023
202	50.2333	0.1776	0.2090	-0.0313	0.1799	-0.0023
203	50.4833	0.1764	0.2077	-0.0313	0.1785	-0.0021
204	50.7333	0.1750	0.2065	-0.0315	0.1771	-0.0020
205	50.9833	0.1737	0.2052	-0.0316	0.1757	-0.0020
206	51.2333	0.1724	0.2040	-0.0316	0.1743	-0.0019
207	51.4833	0.1711	0.2028	-0.0316	0.1729	-0.0018
208	51.7333	0.1698	0.2016	-0.0318	0.1715	-0.0018
209	51.9833	0.1684	0.2004	-0.0319	0.1702	-0.0017
210	52.2333	0.1672	0.1992	-0.0320	0.1689	-0.0017
211	52.4833	0.1660	0.1980	-0.0320	0.1675	-0.0015
212	52.7333	0.1647	0.1968	-0.0321	0.1662	-0.0015
213	52.9833	0.1635	0.1956	-0.0322	0.1649	-0.0014
214	53.2333	0.1622	0.1945	-0.0322	0.1636	-0.0014
215	53.4833	0.1611	0.1933	-0.0322	0.1623	-0.0012
216	53.7333	0.1599	0.1922	-0.0323	0.1610	-0.0012
217	53.9833	0.1586	0.1910	-0.0324	0.1598	-0.0012
218	54.2333	0.1573	0.1899	-0.0326	0.1585	-0.0013
219	54.4833	0.1561	0.1887	-0.0327	0.1573	-0.0012
220	54.7333	0.1548	0.1876	-0.0328	0.1560	-0.0012
221	54.9833	0.1536	0.1865	-0.0329	0.1548	-0.0013
222	55.2333	0.1523	0.1854	-0.0331	0.1536	-0.0013
223	55.4833	0.1510	0.1843	-0.0333	0.1524	-0.0014
224	55.7333	0.1497	0.1832	-0.0335	0.1512	-0.0015
225	55.9833	0.1483	0.1821	-0.0337	0.1500	-0.0017
226	56.2333	0.1471	0.1810	-0.0339	0.1488	-0.0017
227	56.4833	0.1459	0.1799	-0.0340	0.1477	-0.0017

228	56.7333	0.1446	0.1789	-0.0343	0.1465	-0.0019
229	56.9833	0.1434	0.1778	-0.0344	0.1453	-0.0020
230	57.2333	0.1421	0.1767	-0.0346	0.1442	-0.0021
231	57.4833	0.1409	0.1757	-0.0348	0.1431	-0.0022
232	57.7333	0.1396	0.1746	-0.0350	0.1419	-0.0023
233	57.9833	0.1384	0.1736	-0.0352	0.1408	-0.0024
234	58.2333	0.1373	0.1726	-0.0352	0.1397	-0.0024
235	58.4833	0.1362	0.1715	-0.0354	0.1386	-0.0025
236	58.7333	0.1351	0.1705	-0.0355	0.1375	-0.0025
237	58.9833	0.1340	0.1695	-0.0355	0.1364	-0.0025
238	59.2333	0.1329	0.1685	-0.0356	0.1354	-0.0025
239	59.4833	0.1317	0.1675	-0.0358	0.1343	-0.0026
240	59.7333	0.1306	0.1665	-0.0359	0.1332	-0.0026
241	59.9833	0.1296	0.1655	-0.0359	0.1322	-0.0026
242	60.2333	0.1285	0.1645	-0.0360	0.1312	-0.0027
243	60.4833	0.1274	0.1635	-0.0361	0.1301	-0.0027
244	60.7333	0.1265	0.1626	-0.0361	0.1291	-0.0026
245	60.9833	0.1254	0.1616	-0.0362	0.1281	-0.0027
246	61.2333	0.1244	0.1606	-0.0363	0.1271	-0.0027
247	61.4833	0.1235	0.1597	-0.0362	0.1261	-0.0026
248	61.7333	0.1224	0.1587	-0.0363	0.1251	-0.0026
249	61.9833	0.1215	0.1578	-0.0363	0.1241	-0.0026
250	62.2333	0.1206	0.1568	-0.0363	0.1231	-0.0025
251	62.4833	0.1197	0.1559	-0.0362	0.1222	-0.0025
252	62.7333	0.1187	0.1550	-0.0362	0.1212	-0.0025
253	62.9833	0.1178	0.1541	-0.0362	0.1203	-0.0024
254	63.2333	0.1169	0.1531	-0.0363	0.1193	-0.0024
255	63.4833	0.1159	0.1522	-0.0363	0.1184	-0.0025
256	63.7333	0.1150	0.1513	-0.0363	0.1174	-0.0024
257	63.9833	0.1141	0.1504	-0.0363	0.1165	-0.0024
258	64.2333	0.1132	0.1495	-0.0363	0.1156	-0.0024
259	64.4833	0.1123	0.1486	-0.0364	0.1147	-0.0024
260	64.7333	0.1114	0.1478	-0.0363	0.1138	-0.0024
261	64.9833	0.1104	0.1469	-0.0365	0.1129	-0.0025
262	65.2333	0.1096	0.1460	-0.0364	0.1120	-0.0024
263	65.4833	0.1087	0.1451	-0.0364	0.1111	-0.0024
264	65.7333	0.1077	0.1443	-0.0365	0.1102	-0.0025
265	65.9833	0.1070	0.1434	-0.0364	0.1094	-0.0024
266	66.2333	0.1061	0.1426	-0.0364	0.1085	-0.0024
267	66.4833	0.1052	0.1417	-0.0365	0.1077	-0.0025
268	66.7333	0.1044	0.1409	-0.0365	0.1068	-0.0025
269	66.9833	0.1036	0.1400	-0.0364	0.1060	-0.0024
270	67.2333	0.1028	0.1392	-0.0364	0.1051	-0.0024
271	67.4833	0.1020	0.1384	-0.0364	0.1043	-0.0023
272	67.7333	0.1013	0.1376	-0.0363	0.1035	-0.0023
273	67.9833	0.1004	0.1367	-0.0363	0.1027	-0.0023
274	68.2333	0.0997	0.1359	-0.0363	0.1019	-0.0022
275	68.4833	0.0989	0.1351	-0.0362	0.1011	-0.0022

276	68.7333	0.0981	0.1343	-0.0362	0.1003	-0.0021
277	68.9833	0.0974	0.1335	-0.0361	0.0995	-0.0021
278	69.2333	0.0967	0.1327	-0.0360	0.0987	-0.0020
279	69.4833	0.0960	0.1319	-0.0360	0.0979	-0.0020
280	69.7333	0.0954	0.1311	-0.0358	0.0972	-0.0018
281	69.9833	0.0948	0.1304	-0.0356	0.0964	-0.0016
282	70.2333	0.0941	0.1296	-0.0355	0.0956	-0.0015
283	70.4833	0.0935	0.1288	-0.0353	0.0949	-0.0014
284	70.7333	0.0929	0.1281	-0.0351	0.0941	-0.0012
285	70.9833	0.0923	0.1273	-0.0350	0.0934	-0.0012
286	71.2333	0.0917	0.1265	-0.0349	0.0927	-0.0010
287	71.4833	0.0911	0.1258	-0.0347	0.0919	-0.0009
288	71.7333	0.0905	0.1250	-0.0346	0.0912	-0.0007
289	71.9833	0.0899	0.0000	0.0899	0.0905	-0.0006

Apêndice F4 - Resultados dos Modelos 3 e 4 para o Teste 2 (T=39,9°C e UR=19,3%)

Tempo de secagem = 72 horas

Raio inicial = 0,01569 m

Coefficiente de difusão (Modelo 3) = $5,990 \times 10^{-7}$ m²/h

Coefficiente de difusão (Modelo 4) = $6,660 \times 10^{-7}$ m²/h

Coefficiente convectivo (Modelo 4) = 0,001150 m/h

N	t(h)	REAL	MODELO 3		MODELO 2	
			CALC.	RES.	CALC.	RES.
1	0.0000	1.0000	0.9833	0.0167	0.9901	0.0099
2	0.2500	0.9876	0.9459	0.0417	0.9632	0.0243
3	0.5000	0.9746	0.9238	0.0508	0.9435	0.0311
4	0.7500	0.9628	0.9067	0.0562	0.9272	0.0356
5	1.0000	0.9506	0.8921	0.0585	0.9130	0.0376
6	1.2500	0.9389	0.8792	0.0598	0.9002	0.0387
7	1.5000	0.9283	0.8674	0.0608	0.8884	0.0398
8	1.7500	0.9171	0.8566	0.0605	0.8775	0.0396
9	2.0000	0.9068	0.8464	0.0604	0.8672	0.0396
10	2.2500	0.8969	0.8369	0.0600	0.8575	0.0394
11	2.5000	0.8868	0.8278	0.0590	0.8483	0.0385
12	2.7500	0.8774	0.8192	0.0582	0.8394	0.0379
13	3.0000	0.8684	0.8109	0.0575	0.8309	0.0374
14	3.2500	0.8590	0.8029	0.0560	0.8228	0.0362
15	3.5000	0.8501	0.7952	0.0549	0.8149	0.0353
16	3.7500	0.8416	0.7878	0.0539	0.8072	0.0344
17	4.0000	0.8330	0.7806	0.0524	0.7998	0.0332
18	4.3000	0.8232	0.7736	0.0497	0.7925	0.0307
19	4.5500	0.8151	0.7667	0.0483	0.7855	0.0296
20	4.8000	0.8070	0.7601	0.0469	0.7786	0.0283
21	5.0500	0.7993	0.7536	0.0457	0.7719	0.0274
22	5.3000	0.7918	0.7473	0.0445	0.7654	0.0264
23	5.5500	0.7844	0.7411	0.0433	0.7589	0.0254
24	5.8000	0.7770	0.7350	0.0421	0.7526	0.0244
25	6.0500	0.7697	0.7290	0.0407	0.7465	0.0232
26	6.3000	0.7624	0.7232	0.0392	0.7404	0.0220
27	6.5500	0.7552	0.7174	0.0377	0.7345	0.0207
28	6.8000	0.7479	0.7118	0.0361	0.7286	0.0193
29	7.0500	0.7410	0.7062	0.0347	0.7229	0.0181
30	7.2667	0.7349	0.7008	0.0342	0.7172	0.0178
31	7.4833	0.7289	0.6954	0.0335	0.7116	0.0173
32	7.7333	0.7221	0.6901	0.0320	0.7061	0.0160
33	7.9833	0.7156	0.6849	0.0306	0.7007	0.0149
34	8.2333	0.7088	0.6798	0.0291	0.6953	0.0135
35	8.4833	0.7024	0.6747	0.0277	0.6901	0.0124
36	8.7333	0.6961	0.6697	0.0264	0.6849	0.0113

37	8.9833	0.6897	0.6647	0.0250	0.6797	0.0100
38	9.2333	0.6835	0.6599	0.0237	0.6746	0.0089
39	9.4833	0.6775	0.6550	0.0224	0.6696	0.0078
40	9.7333	0.6712	0.6503	0.0210	0.6647	0.0066
41	9.9833	0.6653	0.6456	0.0198	0.6597	0.0056
42	10.2333	0.6595	0.6409	0.0186	0.6549	0.0046
43	10.4833	0.6536	0.6363	0.0173	0.6501	0.0035
44	10.7333	0.6478	0.6317	0.0160	0.6453	0.0024
45	10.9833	0.6420	0.6272	0.0148	0.6406	0.0014
46	11.2333	0.6362	0.6227	0.0135	0.6360	0.0003
47	11.4833	0.6306	0.6183	0.0123	0.6314	-0.0008
48	11.7333	0.6252	0.6139	0.0113	0.6268	-0.0016
49	11.9833	0.6196	0.6096	0.0100	0.6223	-0.0027
50	12.2333	0.6142	0.6053	0.0089	0.6178	-0.0036
51	12.4833	0.6089	0.6010	0.0079	0.6133	-0.0044
52	12.7333	0.6035	0.5968	0.0067	0.6089	-0.0054
53	12.9833	0.5982	0.5926	0.0056	0.6046	-0.0063
54	13.2333	0.5932	0.5885	0.0047	0.6002	-0.0071
55	13.4833	0.5881	0.5844	0.0037	0.5959	-0.0079
56	13.7333	0.5829	0.5803	0.0026	0.5917	-0.0088
57	13.9833	0.5780	0.5762	0.0018	0.5875	-0.0094
58	14.2333	0.5730	0.5722	0.0008	0.5833	-0.0103
59	14.4833	0.5681	0.5682	-0.0001	0.5791	-0.0110
60	14.7333	0.5634	0.5643	-0.0009	0.5750	-0.0116
61	14.9833	0.5587	0.5603	-0.0016	0.5709	-0.0122
62	15.2333	0.5538	0.5564	-0.0026	0.5668	-0.0130
63	15.4833	0.5493	0.5526	-0.0033	0.5628	-0.0135
64	15.7333	0.5446	0.5487	-0.0042	0.5587	-0.0142
65	15.9833	0.5399	0.5449	-0.0050	0.5548	-0.0148
66	16.2333	0.5355	0.5411	-0.0057	0.5508	-0.0153
67	16.4833	0.5310	0.5374	-0.0063	0.5469	-0.0159
68	16.7333	0.5264	0.5336	-0.0072	0.5430	-0.0166
69	16.9833	0.5222	0.5299	-0.0077	0.5391	-0.0169
70	17.2333	0.5178	0.5262	-0.0084	0.5352	-0.0174
71	17.4833	0.5134	0.5226	-0.0092	0.5314	-0.0181
72	17.7333	0.5092	0.5189	-0.0098	0.5276	-0.0185
73	17.9833	0.5050	0.5153	-0.0104	0.5238	-0.0189
74	18.2333	0.5008	0.5117	-0.0110	0.5201	-0.0193
75	18.4833	0.4966	0.5082	-0.0115	0.5163	-0.0197
76	18.7333	0.4926	0.5046	-0.0120	0.5126	-0.0200
77	18.9833	0.4885	0.5011	-0.0126	0.5089	-0.0205
78	19.2333	0.4844	0.4976	-0.0131	0.5053	-0.0208
79	19.4833	0.4805	0.4941	-0.0136	0.5016	-0.0211
80	19.7333	0.4764	0.4906	-0.0142	0.4980	-0.0216
81	19.9833	0.4726	0.4872	-0.0146	0.4944	-0.0218
82	20.2333	0.4687	0.4838	-0.0150	0.4908	-0.0221
83	20.4833	0.4648	0.4803	-0.0155	0.4873	-0.0224
84	20.7333	0.4611	0.4770	-0.0158	0.4837	-0.0226

85	20.9833	0.4574	0.4736	-0.0162	0.4802	-0.0227
86	21.2333	0.4537	0.4702	-0.0166	0.4767	-0.0230
87	21.4833	0.4500	0.4669	-0.0169	0.4732	-0.0232
88	21.7333	0.4466	0.4636	-0.0170	0.4697	-0.0231
89	21.9833	0.4430	0.4603	-0.0173	0.4663	-0.0233
90	22.2333	0.4394	0.4570	-0.0177	0.4628	-0.0235
91	22.4833	0.4358	0.4538	-0.0179	0.4594	-0.0236
92	22.7333	0.4322	0.4505	-0.0183	0.4560	-0.0238
93	22.9833	0.4288	0.4473	-0.0185	0.4527	-0.0239
94	23.2333	0.4253	0.4441	-0.0188	0.4493	-0.0240
95	23.4833	0.4219	0.4409	-0.0189	0.4460	-0.0240
96	23.7333	0.4186	0.4377	-0.0191	0.4426	-0.0240
97	23.9833	0.4153	0.4345	-0.0192	0.4393	-0.0240
98	24.2333	0.4119	0.4314	-0.0195	0.4360	-0.0241
99	24.4833	0.4087	0.4283	-0.0196	0.4327	-0.0241
100	24.7333	0.4054	0.4251	-0.0198	0.4295	-0.0241
101	24.9833	0.4021	0.4220	-0.0199	0.4262	-0.0241
102	25.2333	0.3989	0.4190	-0.0201	0.4230	-0.0241
103	25.4833	0.3957	0.4159	-0.0202	0.4198	-0.0241
104	25.7333	0.3924	0.4128	-0.0204	0.4166	-0.0242
105	25.9833	0.3893	0.4098	-0.0205	0.4134	-0.0241
106	26.2333	0.3863	0.4068	-0.0205	0.4103	-0.0240
107	26.4833	0.3832	0.4038	-0.0206	0.4071	-0.0239
108	26.7333	0.3801	0.4008	-0.0206	0.4040	-0.0238
109	26.9833	0.3771	0.3978	-0.0207	0.4008	-0.0237
110	27.2333	0.3741	0.3948	-0.0207	0.3977	-0.0237
111	27.4833	0.3711	0.3918	-0.0208	0.3946	-0.0236
112	27.7333	0.3681	0.3889	-0.0208	0.3916	-0.0235
113	27.9833	0.3651	0.3860	-0.0209	0.3885	-0.0234
114	28.2333	0.3622	0.3831	-0.0208	0.3855	-0.0232
115	28.4833	0.3593	0.3802	-0.0209	0.3824	-0.0231
116	28.7333	0.3563	0.3773	-0.0209	0.3794	-0.0231
117	28.9833	0.3535	0.3744	-0.0209	0.3764	-0.0229
118	29.2333	0.3507	0.3715	-0.0208	0.3734	-0.0227
119	29.4833	0.3480	0.3687	-0.0207	0.3704	-0.0224
120	29.7333	0.3452	0.3659	-0.0206	0.3675	-0.0222
121	29.9833	0.3425	0.3630	-0.0206	0.3645	-0.0221
122	30.2333	0.3397	0.3602	-0.0205	0.3616	-0.0219
123	30.4833	0.3368	0.3574	-0.0206	0.3587	-0.0218
124	30.7333	0.3341	0.3547	-0.0206	0.3557	-0.0217
125	30.9833	0.3313	0.3519	-0.0206	0.3529	-0.0216
126	31.2333	0.3285	0.3491	-0.0206	0.3500	-0.0215
127	31.4833	0.3258	0.3464	-0.0206	0.3471	-0.0213
128	31.7333	0.3230	0.3437	-0.0206	0.3442	-0.0212
129	31.9833	0.3203	0.3409	-0.0206	0.3414	-0.0211
130	32.2333	0.3177	0.3382	-0.0205	0.3386	-0.0208
131	32.4833	0.3151	0.3355	-0.0204	0.3358	-0.0206
132	32.7333	0.3125	0.3329	-0.0203	0.3330	-0.0204

133	32.9833	0.3099	0.3302	-0.0203	0.3302	-0.0203
134	33.2333	0.3074	0.3275	-0.0201	0.3274	-0.0200
135	33.4833	0.3048	0.3249	-0.0201	0.3246	-0.0199
136	33.7333	0.3023	0.3223	-0.0199	0.3219	-0.0195
137	33.9833	0.2998	0.3196	-0.0198	0.3192	-0.0193
138	34.2333	0.2973	0.3170	-0.0197	0.3164	-0.0191
139	34.4833	0.2949	0.3144	-0.0196	0.3137	-0.0189
140	34.7333	0.2925	0.3119	-0.0194	0.3110	-0.0185
141	34.9833	0.2900	0.3093	-0.0193	0.3084	-0.0184
142	35.2333	0.2877	0.3067	-0.0190	0.3057	-0.0180
143	35.4833	0.2853	0.3042	-0.0189	0.3030	-0.0178
144	35.7333	0.2829	0.3016	-0.0187	0.3004	-0.0175
145	35.9833	0.2806	0.2991	-0.0185	0.2978	-0.0171
146	36.2333	0.2783	0.2966	-0.0183	0.2951	-0.0168
147	36.4833	0.2760	0.2941	-0.0181	0.2925	-0.0165
148	36.7333	0.2737	0.2916	-0.0179	0.2899	-0.0162
149	36.9833	0.2715	0.2892	-0.0177	0.2874	-0.0159
150	37.2333	0.2692	0.2867	-0.0175	0.2848	-0.0156
151	37.4833	0.2670	0.2843	-0.0172	0.2823	-0.0152
152	37.7333	0.2648	0.2818	-0.0170	0.2797	-0.0149
153	37.9833	0.2626	0.2794	-0.0168	0.2772	-0.0146
154	38.2333	0.2605	0.2770	-0.0165	0.2747	-0.0142
155	38.4833	0.2584	0.2746	-0.0162	0.2722	-0.0138
156	38.7333	0.2562	0.2722	-0.0160	0.2697	-0.0135
157	38.9833	0.2542	0.2698	-0.0156	0.2672	-0.0130
158	39.2333	0.2521	0.2674	-0.0153	0.2648	-0.0126
159	39.4833	0.2501	0.2651	-0.0150	0.2623	-0.0122
160	39.7333	0.2481	0.2628	-0.0147	0.2599	-0.0118
161	39.9833	0.2461	0.2604	-0.0143	0.2575	-0.0114
162	40.2333	0.2440	0.2581	-0.0141	0.2551	-0.0111
163	40.4833	0.2420	0.2558	-0.0138	0.2527	-0.0106
164	40.7333	0.2401	0.2535	-0.0134	0.2503	-0.0102
165	40.9833	0.2381	0.2512	-0.0131	0.2479	-0.0098
166	41.2333	0.2361	0.2490	-0.0129	0.2456	-0.0095
167	41.4833	0.2342	0.2467	-0.0125	0.2432	-0.0090
168	41.7333	0.2323	0.2445	-0.0122	0.2409	-0.0086
169	41.9833	0.2304	0.2422	-0.0119	0.2386	-0.0083
170	42.2333	0.2286	0.2400	-0.0114	0.2363	-0.0077
171	42.4833	0.2267	0.2378	-0.0112	0.2340	-0.0074
172	42.7333	0.2248	0.2356	-0.0108	0.2318	-0.0070
173	42.9833	0.2230	0.2334	-0.0105	0.2295	-0.0065
174	43.2333	0.2211	0.2313	-0.0102	0.2273	-0.0062
175	43.4833	0.2193	0.2291	-0.0099	0.2250	-0.0058
176	43.7333	0.2176	0.2270	-0.0094	0.2228	-0.0052
177	43.9833	0.2157	0.2248	-0.0091	0.2206	-0.0049
178	44.2333	0.2140	0.2227	-0.0088	0.2184	-0.0045
179	44.4833	0.2124	0.2206	-0.0082	0.2162	-0.0039
180	44.7333	0.2106	0.2185	-0.0079	0.2141	-0.0035

181	44.9833	0.2089	0.2164	-0.0075	0.2119	-0.0030
182	45.2333	0.2074	0.2143	-0.0070	0.2098	-0.0024
183	45.4833	0.2057	0.2123	-0.0066	0.2077	-0.0020
184	45.7333	0.2041	0.2102	-0.0061	0.2056	-0.0014
185	45.9833	0.2025	0.2082	-0.0057	0.2035	-0.0009
186	46.2333	0.2008	0.2062	-0.0053	0.2014	-0.0006
187	46.4833	0.1992	0.2042	-0.0049	0.1993	-0.0001
188	46.7333	0.1977	0.2022	-0.0045	0.1973	0.0005
189	46.9833	0.1961	0.2002	-0.0041	0.1952	0.0009
190	47.2333	0.1946	0.1982	-0.0036	0.1932	0.0014
191	47.4833	0.1932	0.1963	-0.0031	0.1912	0.0020
192	47.7333	0.1917	0.1943	-0.0026	0.1892	0.0025
193	47.9833	0.1902	0.1924	-0.0021	0.1872	0.0030
194	48.2333	0.1888	0.1905	-0.0016	0.1852	0.0036
195	48.4833	0.1874	0.1885	-0.0012	0.1833	0.0041
196	48.7333	0.1859	0.1866	-0.0007	0.1813	0.0046
197	48.9833	0.1846	0.1848	-0.0002	0.1794	0.0052
198	49.2333	0.1831	0.1829	0.0002	0.1775	0.0056
199	49.4833	0.1817	0.1810	0.0007	0.1756	0.0062
200	49.7333	0.1804	0.1792	0.0012	0.1737	0.0067
201	49.9833	0.1790	0.1774	0.0016	0.1718	0.0072
202	50.2333	0.1776	0.1755	0.0021	0.1700	0.0077
203	50.4833	0.1764	0.1737	0.0026	0.1681	0.0083
204	50.7333	0.1750	0.1719	0.0031	0.1663	0.0087
205	50.9833	0.1737	0.1701	0.0035	0.1645	0.0092
206	51.2333	0.1724	0.1684	0.0040	0.1626	0.0098
207	51.4833	0.1711	0.1666	0.0045	0.1609	0.0103
208	51.7333	0.1698	0.1649	0.0049	0.1591	0.0107
209	51.9833	0.1684	0.1631	0.0053	0.1573	0.0111
210	52.2333	0.1672	0.1614	0.0058	0.1556	0.0116
211	52.4833	0.1660	0.1597	0.0063	0.1538	0.0122
212	52.7333	0.1647	0.1580	0.0067	0.1521	0.0126
213	52.9833	0.1635	0.1563	0.0072	0.1504	0.0131
214	53.2333	0.1622	0.1546	0.0076	0.1487	0.0135
215	53.4833	0.1611	0.1530	0.0081	0.1470	0.0141
216	53.7333	0.1599	0.1513	0.0085	0.1453	0.0145
217	53.9833	0.1586	0.1497	0.0089	0.1437	0.0149
218	54.2333	0.1573	0.1481	0.0092	0.1420	0.0152
219	54.4833	0.1561	0.1465	0.0096	0.1404	0.0157
220	54.7333	0.1548	0.1449	0.0099	0.1388	0.0160
221	54.9833	0.1536	0.1433	0.0103	0.1372	0.0164
222	55.2333	0.1523	0.1417	0.0106	0.1356	0.0167
223	55.4833	0.1510	0.1402	0.0108	0.1340	0.0169
224	55.7333	0.1497	0.1386	0.0111	0.1325	0.0172
225	55.9833	0.1483	0.1371	0.0113	0.1309	0.0174
226	56.2333	0.1471	0.1356	0.0115	0.1294	0.0177
227	56.4833	0.1459	0.1341	0.0118	0.1279	0.0180
228	56.7333	0.1446	0.1326	0.0120	0.1264	0.0182

229	56.9833	0.1434	0.1311	0.0123	0.1249	0.0185
230	57.2333	0.1421	0.1296	0.0125	0.1234	0.0187
231	57.4833	0.1409	0.1281	0.0127	0.1219	0.0189
232	57.7333	0.1396	0.1267	0.0129	0.1205	0.0191
233	57.9833	0.1384	0.1253	0.0132	0.1191	0.0194
234	58.2333	0.1373	0.1238	0.0135	0.1176	0.0197
235	58.4833	0.1362	0.1224	0.0137	0.1162	0.0199
236	58.7333	0.1351	0.1210	0.0140	0.1148	0.0203
237	58.9833	0.1340	0.1196	0.0143	0.1134	0.0205
238	59.2333	0.1329	0.1183	0.0146	0.1120	0.0208
239	59.4833	0.1317	0.1169	0.0148	0.1107	0.0210
240	59.7333	0.1306	0.1156	0.0150	0.1093	0.0213
241	59.9833	0.1296	0.1142	0.0154	0.1080	0.0216
242	60.2333	0.1285	0.1129	0.0156	0.1067	0.0218
243	60.4833	0.1274	0.1116	0.0158	0.1054	0.0220
244	60.7333	0.1265	0.1103	0.0162	0.1041	0.0224
245	60.9833	0.1254	0.1090	0.0164	0.1028	0.0226
246	61.2333	0.1244	0.1077	0.0167	0.1015	0.0229
247	61.4833	0.1235	0.1064	0.0170	0.1003	0.0232
248	61.7333	0.1224	0.1052	0.0173	0.0990	0.0234
249	61.9833	0.1215	0.1039	0.0176	0.0978	0.0238
250	62.2333	0.1206	0.1027	0.0179	0.0965	0.0240
251	62.4833	0.1197	0.1015	0.0182	0.0953	0.0243
252	62.7333	0.1187	0.1003	0.0185	0.0941	0.0246
253	62.9833	0.1178	0.0991	0.0188	0.0930	0.0249
254	63.2333	0.1169	0.0979	0.0190	0.0918	0.0251
255	63.4833	0.1159	0.0967	0.0192	0.0906	0.0253
256	63.7333	0.1150	0.0955	0.0195	0.0895	0.0256
257	63.9833	0.1141	0.0944	0.0197	0.0883	0.0258
258	64.2333	0.1132	0.0932	0.0199	0.0872	0.0260
259	64.4833	0.1123	0.0921	0.0202	0.0861	0.0262
260	64.7333	0.1114	0.0910	0.0204	0.0850	0.0264
261	64.9833	0.1104	0.0899	0.0205	0.0839	0.0265
262	65.2333	0.1096	0.0888	0.0208	0.0828	0.0268
263	65.4833	0.1087	0.0877	0.0210	0.0817	0.0270
264	65.7333	0.1077	0.0866	0.0211	0.0807	0.0270
265	65.9833	0.1070	0.0856	0.0214	0.0796	0.0273
266	66.2333	0.1061	0.0845	0.0216	0.0786	0.0275
267	66.4833	0.1052	0.0835	0.0217	0.0776	0.0276
268	66.7333	0.1044	0.0824	0.0219	0.0766	0.0278
269	66.9833	0.1036	0.0814	0.0222	0.0756	0.0280
270	67.2333	0.1028	0.0804	0.0224	0.0746	0.0282
271	67.4833	0.1020	0.0794	0.0226	0.0736	0.0284
272	67.7333	0.1013	0.0784	0.0229	0.0726	0.0286
273	67.9833	0.1004	0.0774	0.0230	0.0717	0.0287
274	68.2333	0.0997	0.0764	0.0232	0.0707	0.0289
275	68.4833	0.0989	0.0755	0.0234	0.0698	0.0291
276	68.7333	0.0981	0.0745	0.0236	0.0689	0.0293

277	68.9833	0.0974	0.0736	0.0238	0.0680	0.0294
278	69.2333	0.0967	0.0727	0.0240	0.0671	0.0297
279	69.4833	0.0960	0.0717	0.0242	0.0662	0.0298
280	69.7333	0.0954	0.0708	0.0245	0.0653	0.0301
281	69.9833	0.0948	0.0699	0.0248	0.0644	0.0304
282	70.2333	0.0941	0.0690	0.0251	0.0635	0.0306
283	70.4833	0.0935	0.0682	0.0254	0.0627	0.0308
284	70.7333	0.0929	0.0673	0.0256	0.0618	0.0311
285	70.9833	0.0923	0.0664	0.0258	0.0610	0.0312
286	71.2333	0.0917	0.0656	0.0261	0.0602	0.0315
287	71.4833	0.0911	0.0647	0.0263	0.0594	0.0317
288	71.7333	0.0905	0.0639	0.0266	0.0586	0.0319
289	71.9833	0.0899	0.0631	0.0268	0.0578	0.0321

Apêndice F5 - Resultados dos Modelos 1 e 2 para o Teste 3 (T=49,9°C e UR=19,2%)

Tempo de secagem = 40,8 horas

Raio inicial = 0,01522 m

Coefficiente de difusão (Modelo 1) = $1,646 \times 10^{-6}$ m²/h

Coefficiente de difusão (Modelo 2) = $6,692 \times 10^{-6}$ m²/h

Coefficiente convectivo (Modelo 2) = 0,000643 m/h

N	t(h)	REAL	MODELO 1		MODELO 2	
			CALC.	RES.	CALC.	RES.
1	0.0000	1.0000	0.9833	0.0167	0.9994	0.0006
2	0.2500	0.9863	0.9060	0.0804	0.9802	0.0061
3	0.5000	0.9675	0.8686	0.0988	0.9625	0.0050
4	0.7500	0.9494	0.8403	0.1091	0.9456	0.0038
5	1.0000	0.9320	0.8167	0.1153	0.9294	0.0026
6	1.2500	0.9142	0.7961	0.1182	0.9137	0.0005
7	1.5000	0.8978	0.7776	0.1201	0.8985	-0.0008
8	1.7500	0.8816	0.7608	0.1208	0.8838	-0.0022
9	2.0000	0.8660	0.7453	0.1206	0.8695	-0.0035
10	2.2500	0.8511	0.7309	0.1203	0.8555	-0.0043
11	2.5000	0.8360	0.7173	0.1187	0.8419	-0.0058
12	2.7500	0.8218	0.7045	0.1173	0.8285	-0.0067
13	3.0000	0.8080	0.6923	0.1157	0.8155	-0.0075
14	3.2500	0.7944	0.6807	0.1137	0.8027	-0.0083
15	3.5000	0.7813	0.6697	0.1116	0.7902	-0.0089
16	3.7500	0.7683	0.6590	0.1093	0.7780	-0.0096
17	4.0000	0.7557	0.6488	0.1068	0.7660	-0.0103
18	4.2500	0.7434	0.6390	0.1044	0.7542	-0.0107
19	4.5000	0.7313	0.6295	0.1018	0.7426	-0.0113
20	4.7500	0.7196	0.6204	0.0992	0.7312	-0.0117
21	5.0000	0.7082	0.6115	0.0967	0.7201	-0.0119
22	5.2500	0.6969	0.6029	0.0940	0.7091	-0.0122
23	5.5000	0.6862	0.5945	0.0917	0.6983	-0.0121
24	5.7500	0.6755	0.5864	0.0891	0.6877	-0.0122
25	6.0000	0.6650	0.5785	0.0866	0.6773	-0.0122
26	6.2500	0.6550	0.5708	0.0842	0.6670	-0.0120
27	6.5000	0.6451	0.5633	0.0818	0.6570	-0.0119
28	6.7500	0.6352	0.5560	0.0793	0.6470	-0.0118
29	7.0167	0.6252	0.5488	0.0764	0.6373	-0.0121
30	7.2667	0.6159	0.5418	0.0740	0.6277	-0.0118
31	7.5167	0.6067	0.5350	0.0717	0.6182	-0.0116
32	7.7667	0.5976	0.5283	0.0692	0.6089	-0.0114
33	8.0167	0.5889	0.5218	0.0671	0.5998	-0.0109
34	8.2667	0.5804	0.5154	0.0650	0.5908	-0.0104
35	8.5167	0.5718	0.5091	0.0627	0.5819	-0.0101
36	8.7667	0.5634	0.5029	0.0605	0.5732	-0.0097

37	9.0167	0.5551	0.4969	0.0582	0.5646	-0.0095
38	9.2667	0.5472	0.4910	0.0562	0.5561	-0.0089
39	9.5167	0.5393	0.4852	0.0541	0.5478	-0.0085
40	9.7667	0.5314	0.4795	0.0520	0.5396	-0.0081
41	10.0167	0.5238	0.4738	0.0499	0.5315	-0.0077
42	10.2667	0.5164	0.4683	0.0480	0.5235	-0.0072
43	10.5167	0.5089	0.4629	0.0460	0.5157	-0.0068
44	10.7667	0.5016	0.4576	0.0440	0.5080	-0.0064
45	11.0167	0.4945	0.4524	0.0421	0.5004	-0.0059
46	11.2667	0.4873	0.4472	0.0401	0.4929	-0.0056
47	11.5167	0.4804	0.4421	0.0382	0.4855	-0.0051
48	11.7667	0.4735	0.4371	0.0363	0.4782	-0.0048
49	12.0167	0.4668	0.4322	0.0345	0.4711	-0.0043
50	12.2667	0.4602	0.4274	0.0328	0.4640	-0.0039
51	12.5167	0.4535	0.4226	0.0309	0.4571	-0.0036
52	12.7667	0.4471	0.4179	0.0292	0.4502	-0.0032
53	13.0167	0.4407	0.4133	0.0274	0.4435	-0.0028
54	13.2667	0.4343	0.4087	0.0256	0.4369	-0.0026
55	13.5167	0.4281	0.4042	0.0239	0.4303	-0.0022
56	13.7667	0.4221	0.3998	0.0223	0.4239	-0.0018
57	14.0167	0.4161	0.3954	0.0207	0.4176	-0.0015
58	14.2667	0.4101	0.3911	0.0191	0.4113	-0.0012
59	14.5167	0.4043	0.3868	0.0174	0.4052	-0.0009
60	14.7667	0.3985	0.3826	0.0159	0.3991	-0.0006
61	15.0167	0.3929	0.3785	0.0144	0.3932	-0.0003
62	15.2667	0.3872	0.3744	0.0128	0.3873	-0.0001
63	15.5167	0.3819	0.3704	0.0115	0.3815	0.0004
64	15.7667	0.3766	0.3664	0.0102	0.3758	0.0008
65	16.0167	0.3715	0.3625	0.0091	0.3702	0.0014
66	16.2667	0.3663	0.3586	0.0077	0.3646	0.0017
67	16.5167	0.3612	0.3548	0.0064	0.3592	0.0020
68	16.7667	0.3561	0.3510	0.0052	0.3538	0.0023
69	17.0167	0.3512	0.3472	0.0040	0.3485	0.0027
70	17.2667	0.3464	0.3435	0.0029	0.3433	0.0031
71	17.5167	0.3417	0.3399	0.0018	0.3382	0.0035
72	17.7667	0.3369	0.3363	0.0006	0.3331	0.0038
73	18.0167	0.3323	0.3327	-0.0005	0.3281	0.0041
74	18.2667	0.3277	0.3292	-0.0015	0.3232	0.0044
75	18.5167	0.3231	0.3258	-0.0027	0.3184	0.0047
76	18.7667	0.3186	0.3223	-0.0037	0.3137	0.0049
77	19.0167	0.3141	0.3189	-0.0049	0.3090	0.0051
78	19.2667	0.3097	0.3156	-0.0059	0.3043	0.0053
79	19.5167	0.3054	0.3123	-0.0069	0.2998	0.0056
80	19.7667	0.3011	0.3090	-0.0079	0.2953	0.0058
81	20.0167	0.2969	0.3058	-0.0088	0.2909	0.0060
82	20.2667	0.2928	0.3026	-0.0097	0.2866	0.0063
83	20.5167	0.2888	0.2994	-0.0107	0.2823	0.0065
84	20.7667	0.2847	0.2963	-0.0116	0.2781	0.0066

85	21.0167	0.2807	0.2932	-0.0125	0.2739	0.0068
86	21.2667	0.2767	0.2901	-0.0134	0.2698	0.0069
87	21.5167	0.2729	0.2871	-0.0143	0.2658	0.0071
88	21.7667	0.2690	0.2841	-0.0152	0.2618	0.0072
89	22.0167	0.2651	0.2812	-0.0161	0.2579	0.0072
90	22.2667	0.2614	0.2783	-0.0168	0.2540	0.0074
91	22.5167	0.2577	0.2754	-0.0177	0.2502	0.0075
92	22.7667	0.2540	0.2725	-0.0185	0.2465	0.0075
93	23.0167	0.2504	0.2697	-0.0193	0.2428	0.0076
94	23.2667	0.2467	0.2669	-0.0202	0.2392	0.0075
95	23.5167	0.2432	0.2641	-0.0209	0.2356	0.0076
96	23.7667	0.2397	0.2614	-0.0217	0.2321	0.0076
97	24.0167	0.2362	0.2587	-0.0225	0.2286	0.0076
98	24.2667	0.2329	0.2560	-0.0231	0.2252	0.0077
99	24.5167	0.2294	0.2534	-0.0239	0.2218	0.0076
100	24.7667	0.2261	0.2508	-0.0247	0.2185	0.0076
101	25.0167	0.2228	0.2482	-0.0253	0.2152	0.0076
102	25.2667	0.2194	0.2456	-0.0262	0.2120	0.0074
103	25.5167	0.2161	0.2431	-0.0269	0.2089	0.0073
104	25.7667	0.2129	0.2406	-0.0277	0.2057	0.0072
105	26.0167	0.2095	0.2381	-0.0285	0.2027	0.0069
106	26.2667	0.2063	0.2356	-0.0293	0.1996	0.0067
107	26.5167	0.2031	0.2332	-0.0302	0.1967	0.0064
108	26.7667	0.2000	0.2308	-0.0308	0.1937	0.0063
109	27.0167	0.1968	0.2284	-0.0317	0.1908	0.0060
110	27.2667	0.1937	0.2261	-0.0323	0.1880	0.0058
111	27.5167	0.1908	0.2238	-0.0329	0.1852	0.0057
112	27.7667	0.1877	0.2215	-0.0338	0.1824	0.0053
113	28.0167	0.1847	0.2192	-0.0344	0.1797	0.0051
114	28.2667	0.1819	0.2169	-0.0350	0.1770	0.0049
115	28.5167	0.1790	0.2147	-0.0357	0.1743	0.0047
116	28.7667	0.1763	0.2125	-0.0362	0.1717	0.0045
117	29.0167	0.1734	0.2103	-0.0369	0.1692	0.0043
118	29.2667	0.1707	0.2082	-0.0374	0.1666	0.0041
119	29.5167	0.1680	0.2060	-0.0380	0.1641	0.0039
120	29.7667	0.1654	0.2039	-0.0385	0.1617	0.0037
121	30.0167	0.1628	0.2018	-0.0390	0.1593	0.0035
122	30.2667	0.1602	0.1997	-0.0396	0.1569	0.0033
123	30.5167	0.1576	0.1977	-0.0400	0.1545	0.0031
124	30.7667	0.1551	0.1957	-0.0405	0.1522	0.0029
125	31.0167	0.1528	0.1937	-0.0408	0.1500	0.0029
126	31.2667	0.1504	0.1917	-0.0412	0.1477	0.0027
127	31.5167	0.1480	0.1897	-0.0417	0.1455	0.0025
128	31.7667	0.1458	0.1878	-0.0419	0.1433	0.0025
129	32.0167	0.1434	0.1858	-0.0424	0.1412	0.0022
130	32.2667	0.1411	0.1839	-0.0428	0.1391	0.0020
131	32.5167	0.1389	0.1821	-0.0431	0.1370	0.0019
132	32.7667	0.1365	0.1802	-0.0437	0.1350	0.0016

133	33.0167	0.1345	0.1783	-0.0438	0.1329	0.0016
134	33.2667	0.1323	0.1765	-0.0442	0.1309	0.0014
135	33.5167	0.1303	0.1747	-0.0444	0.1290	0.0013
136	33.7667	0.1282	0.1729	-0.0447	0.1271	0.0012
137	34.0167	0.1262	0.1711	-0.0450	0.1252	0.0010
138	34.2667	0.1242	0.1694	-0.0452	0.1233	0.0009
139	34.5167	0.1221	0.1677	-0.0456	0.1215	0.0006
140	34.7667	0.1201	0.1659	-0.0459	0.1196	0.0004
141	35.0167	0.1182	0.1642	-0.0460	0.1178	0.0004
142	35.2667	0.1164	0.1626	-0.0461	0.1161	0.0003
143	35.5167	0.1146	0.1609	-0.0463	0.1144	0.0003
144	35.7667	0.1130	0.1593	-0.0463	0.1126	0.0003
145	36.0167	0.1111	0.1576	-0.0465	0.1110	0.0001
146	36.2667	0.1094	0.1560	-0.0466	0.1093	0.0001
147	36.5167	0.1077	0.1544	-0.0467	0.1077	0.0001
148	36.7667	0.1060	0.1528	-0.0469	0.1061	-0.0001
149	37.0167	0.1043	0.1513	-0.0470	0.1045	-0.0002
150	37.2667	0.1027	0.1497	-0.0470	0.1029	-0.0002
151	37.5167	0.1009	0.1482	-0.0473	0.1014	-0.0004
152	37.7667	0.0993	0.1467	-0.0474	0.0999	-0.0006
153	38.0167	0.0977	0.1452	-0.0475	0.0984	-0.0007
154	38.2667	0.0961	0.1437	-0.0476	0.0969	-0.0008
155	38.5167	0.0945	0.1422	-0.0477	0.0954	-0.0009
156	38.7667	0.0930	0.1408	-0.0478	0.0940	-0.0010
157	39.0167	0.0913	0.1393	-0.0480	0.0926	-0.0013
158	39.2667	0.0899	0.1379	-0.0480	0.0912	-0.0013
159	39.5167	0.0886	0.1365	-0.0479	0.0899	-0.0013
160	39.7667	0.0871	0.1351	-0.0480	0.0885	-0.0014
161	40.0167	0.0859	0.1337	-0.0479	0.0872	-0.0013
162	40.2667	0.0846	0.1323	-0.0477	0.0859	-0.0013
163	40.5167	0.0835	0.1310	-0.0475	0.0846	-0.0012
164	40.7667	0.0822	0.1297	-0.0475	0.0833	-0.0011

Apêndice F6 - Resultados dos Modelos 3 e 4 para o Teste 3 (T=49,9°C e UR=19,2%)

Tempo de secagem = 40,8 horas

Raio inicial = 0,01522 m

Coefficiente de difusão (Modelo 3) = $9,870 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{h}$

Coefficiente de difusão (Modelo 4) = $1,191 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{h}$

Coefficiente convectivo (Modelo 4) = 0,002500 m/h

N	t(h)	REAL	MODELO 3		MODELO 4	
			CALC.	RES.	CALC.	RES.
1	0.0000	1.0000	0.9833	0.0167	0.9926	0.0074
2	0.2500	0.9863	0.9297	0.0566	0.9572	0.0292
3	0.5000	0.9675	0.9003	0.0671	0.9313	0.0362
4	0.7500	0.9494	0.8775	0.0719	0.9097	0.0397
5	1.0000	0.9320	0.8581	0.0739	0.8907	0.0413
6	1.2500	0.9142	0.8409	0.0734	0.8734	0.0408
7	1.5000	0.8978	0.8252	0.0726	0.8576	0.0402
8	1.7500	0.8816	0.8107	0.0709	0.8427	0.0389
9	2.0000	0.8660	0.7971	0.0688	0.8288	0.0372
10	2.2500	0.8511	0.7843	0.0668	0.8155	0.0356
11	2.5000	0.8360	0.7722	0.0638	0.8029	0.0332
12	2.7500	0.8218	0.7606	0.0612	0.7907	0.0311
13	3.0000	0.8080	0.7494	0.0585	0.7791	0.0289
14	3.2500	0.7944	0.7387	0.0556	0.7678	0.0266
15	3.5000	0.7813	0.7284	0.0529	0.7569	0.0244
16	3.7500	0.7683	0.7184	0.0499	0.7464	0.0220
17	4.0000	0.7557	0.7087	0.0470	0.7361	0.0196
18	4.2500	0.7434	0.6992	0.0442	0.7261	0.0173
19	4.5000	0.7313	0.6900	0.0413	0.7163	0.0150
20	4.7500	0.7196	0.6811	0.0385	0.7068	0.0128
21	5.0000	0.7082	0.6723	0.0359	0.6975	0.0107
22	5.2500	0.6969	0.6637	0.0331	0.6884	0.0085
23	5.5000	0.6862	0.6553	0.0308	0.6794	0.0068
24	5.7500	0.6755	0.6471	0.0284	0.6707	0.0049
25	6.0000	0.6650	0.6391	0.0260	0.6621	0.0030
26	6.2500	0.6550	0.6312	0.0238	0.6536	0.0014
27	6.5000	0.6451	0.6234	0.0217	0.6453	-0.0002
28	6.7500	0.6352	0.6157	0.0195	0.6371	-0.0019
29	7.0167	0.6252	0.6082	0.0170	0.6291	-0.0039
30	7.2667	0.6159	0.6008	0.0150	0.6211	-0.0053
31	7.5167	0.6067	0.5935	0.0131	0.6133	-0.0067
32	7.7667	0.5976	0.5864	0.0112	0.6056	-0.0081
33	8.0167	0.5889	0.5793	0.0096	0.5980	-0.0092
34	8.2667	0.5804	0.5723	0.0081	0.5905	-0.0101
35	8.5167	0.5718	0.5654	0.0064	0.5831	-0.0113

36	8.7667	0.5634	0.5586	0.0048	0.5758	-0.0124
37	9.0167	0.5551	0.5519	0.0032	0.5686	-0.0135
38	9.2667	0.5472	0.5453	0.0019	0.5615	-0.0143
39	9.5167	0.5393	0.5387	0.0005	0.5544	-0.0152
40	9.7667	0.5314	0.5322	-0.0008	0.5475	-0.0160
41	10.0167	0.5238	0.5258	-0.0021	0.5406	-0.0168
42	10.2667	0.5164	0.5195	-0.0032	0.5337	-0.0174
43	10.5167	0.5089	0.5133	-0.0043	0.5270	-0.0181
44	10.7667	0.5016	0.5071	-0.0055	0.5203	-0.0187
45	11.0167	0.4945	0.5009	-0.0064	0.5137	-0.0192
46	11.2667	0.4873	0.4949	-0.0076	0.5072	-0.0199
47	11.5167	0.4804	0.4888	-0.0085	0.5007	-0.0203
48	11.7667	0.4735	0.4829	-0.0094	0.4943	-0.0208
49	12.0167	0.4668	0.4770	-0.0103	0.4879	-0.0212
50	12.2667	0.4602	0.4712	-0.0110	0.4816	-0.0215
51	12.5167	0.4535	0.4654	-0.0119	0.4754	-0.0219
52	12.7667	0.4471	0.4597	-0.0126	0.4692	-0.0221
53	13.0167	0.4407	0.4540	-0.0133	0.4631	-0.0224
54	13.2667	0.4343	0.4484	-0.0140	0.4570	-0.0227
55	13.5167	0.4281	0.4428	-0.0146	0.4510	-0.0228
56	13.7667	0.4221	0.4373	-0.0152	0.4450	-0.0229
57	14.0167	0.4161	0.4318	-0.0157	0.4391	-0.0230
58	14.2667	0.4101	0.4263	-0.0162	0.4332	-0.0231
59	14.5167	0.4043	0.4210	-0.0167	0.4274	-0.0231
60	14.7667	0.3985	0.4156	-0.0171	0.4216	-0.0231
61	15.0167	0.3929	0.4103	-0.0174	0.4159	-0.0230
62	15.2667	0.3872	0.4051	-0.0178	0.4102	-0.0230
63	15.5167	0.3819	0.3998	-0.0180	0.4046	-0.0227
64	15.7667	0.3766	0.3947	-0.0181	0.3990	-0.0225
65	16.0167	0.3715	0.3896	-0.0180	0.3935	-0.0219
66	16.2667	0.3663	0.3845	-0.0182	0.3880	-0.0217
67	16.5167	0.3612	0.3794	-0.0182	0.3825	-0.0214
68	16.7667	0.3562	0.3744	-0.0183	0.3771	-0.0210
69	17.0167	0.3512	0.3694	-0.0182	0.3718	-0.0205
70	17.2667	0.3464	0.3645	-0.0181	0.3664	-0.0200
71	17.5167	0.3417	0.3596	-0.0179	0.3612	-0.0195
72	17.7667	0.3369	0.3548	-0.0179	0.3559	-0.0190
73	18.0167	0.3323	0.3500	-0.0177	0.3508	-0.0185
74	18.2667	0.3277	0.3452	-0.0175	0.3456	-0.0179
75	18.5167	0.3231	0.3405	-0.0174	0.3405	-0.0174
76	18.7667	0.3186	0.3358	-0.0172	0.3354	-0.0169
77	19.0167	0.3141	0.3311	-0.0170	0.3304	-0.0163
78	19.2667	0.3097	0.3265	-0.0168	0.3254	-0.0158
79	19.5167	0.3054	0.3219	-0.0165	0.3205	-0.0151
80	19.7667	0.3011	0.3173	-0.0162	0.3156	-0.0145
81	20.0167	0.2969	0.3128	-0.0159	0.3108	-0.0138
82	20.2667	0.2928	0.3083	-0.0155	0.3060	-0.0131
83	20.5167	0.2888	0.3039	-0.0151	0.3012	-0.0124

84	20.7667	0.2847	0.2995	-0.0148	0.2965	-0.0118
85	21.0167	0.2807	0.2951	-0.0144	0.2918	-0.0111
86	21.2667	0.2767	0.2908	-0.0141	0.2871	-0.0104
87	21.5167	0.2729	0.2865	-0.0136	0.2825	-0.0097
88	21.7667	0.2690	0.2822	-0.0133	0.2780	-0.0090
89	22.0167	0.2651	0.2780	-0.0129	0.2735	-0.0083
90	22.2667	0.2614	0.2738	-0.0124	0.2690	-0.0075
91	22.5167	0.2577	0.2697	-0.0120	0.2645	-0.0069
92	22.7667	0.2540	0.2656	-0.0115	0.2602	-0.0061
93	23.0167	0.2504	0.2615	-0.0111	0.2558	-0.0055
94	23.2667	0.2467	0.2574	-0.0107	0.2515	-0.0048
95	23.5167	0.2432	0.2534	-0.0102	0.2472	-0.0040
96	23.7667	0.2397	0.2495	-0.0098	0.2430	-0.0033
97	24.0167	0.2362	0.2455	-0.0093	0.2389	-0.0026
98	24.2667	0.2329	0.2416	-0.0088	0.2347	-0.0018
99	24.5167	0.2294	0.2378	-0.0084	0.2306	-0.0012
100	24.7667	0.2261	0.2340	-0.0079	0.2266	-0.0005
101	25.0167	0.2228	0.2302	-0.0073	0.2226	0.0003
102	25.2667	0.2194	0.2264	-0.0070	0.2186	0.0008
103	25.5167	0.2161	0.2227	-0.0066	0.2147	0.0014
104	25.7667	0.2129	0.2190	-0.0061	0.2108	0.0021
105	26.0167	0.2095	0.2154	-0.0059	0.2070	0.0025
106	26.2667	0.2063	0.2118	-0.0055	0.2032	0.0031
107	26.5167	0.2031	0.2082	-0.0052	0.1995	0.0036
108	26.7667	0.2000	0.2047	-0.0047	0.1958	0.0042
109	27.0167	0.1968	0.2012	-0.0044	0.1922	0.0046
110	27.2667	0.1937	0.1978	-0.0040	0.1886	0.0052
111	27.5167	0.1908	0.1944	-0.0035	0.1850	0.0058
112	27.7667	0.1877	0.1910	-0.0033	0.1815	0.0062
113	28.0167	0.1847	0.1877	-0.0029	0.1780	0.0067
114	28.2667	0.1819	0.1844	-0.0024	0.1746	0.0073
115	28.5167	0.1790	0.1811	-0.0021	0.1712	0.0078
116	28.7667	0.1763	0.1779	-0.0016	0.1679	0.0084
117	29.0167	0.1734	0.1747	-0.0012	0.1646	0.0089
118	29.2667	0.1707	0.1715	-0.0008	0.1613	0.0094
119	29.5167	0.1680	0.1684	-0.0004	0.1581	0.0099
120	29.7667	0.1654	0.1654	0.0000	0.1550	0.0104
121	30.0167	0.1628	0.1623	0.0004	0.1519	0.0109
122	30.2667	0.1602	0.1593	0.0008	0.1488	0.0114
123	30.5167	0.1576	0.1564	0.0013	0.1458	0.0119
124	30.7667	0.1551	0.1535	0.0017	0.1428	0.0123
125	31.0167	0.1528	0.1506	0.0022	0.1399	0.0130
126	31.2667	0.1504	0.1478	0.0027	0.1370	0.0135
127	31.5167	0.1480	0.1449	0.0031	0.1341	0.0139
128	31.7667	0.1458	0.1422	0.0036	0.1313	0.0145
129	32.0167	0.1434	0.1395	0.0040	0.1286	0.0148
130	32.2667	0.1411	0.1368	0.0043	0.1259	0.0153
131	32.5167	0.1389	0.1341	0.0048	0.1232	0.0157

132	32.7667	0.1365	0.1315	0.0050	0.1205	0.0160
133	33.0167	0.1345	0.1289	0.0056	0.1180	0.0166
134	33.2667	0.1323	0.1264	0.0059	0.1154	0.0169
135	33.5167	0.1303	0.1239	0.0065	0.1129	0.0174
136	33.7667	0.1282	0.1214	0.0068	0.1105	0.0178
137	34.0167	0.1262	0.1190	0.0072	0.1080	0.0181
138	34.2667	0.1242	0.1166	0.0076	0.1057	0.0185
139	34.5167	0.1221	0.1142	0.0078	0.1033	0.0187
140	34.7667	0.1201	0.1119	0.0082	0.1010	0.0190
141	35.0167	0.1182	0.1096	0.0086	0.0988	0.0194
142	35.2667	0.1164	0.1074	0.0090	0.0966	0.0199
143	35.5167	0.1146	0.1052	0.0095	0.0944	0.0202
144	35.7667	0.1130	0.1030	0.0100	0.0923	0.0207
145	36.0167	0.1111	0.1009	0.0102	0.0902	0.0209
146	36.2667	0.1094	0.0988	0.0106	0.0881	0.0213
147	36.5167	0.1077	0.0967	0.0110	0.0861	0.0216
148	36.7667	0.1060	0.0947	0.0113	0.0841	0.0218
149	37.0167	0.1043	0.0927	0.0116	0.0822	0.0221
150	37.2667	0.1027	0.0907	0.0120	0.0803	0.0224
151	37.5167	0.1009	0.0888	0.0122	0.0784	0.0225
152	37.7667	0.0993	0.0869	0.0124	0.0766	0.0227
153	38.0167	0.0977	0.0850	0.0127	0.0748	0.0229
154	38.2667	0.0961	0.0832	0.0130	0.0730	0.0231
155	38.5167	0.0945	0.0814	0.0132	0.0713	0.0233
156	38.7667	0.0930	0.0796	0.0134	0.0696	0.0234
157	39.0167	0.0913	0.0778	0.0135	0.0679	0.0234
158	39.2667	0.0899	0.0761	0.0138	0.0663	0.0236
159	39.5167	0.0886	0.0745	0.0141	0.0647	0.0239
160	39.7667	0.0871	0.0728	0.0143	0.0632	0.0239
161	40.0167	0.0859	0.0712	0.0147	0.0617	0.0242
162	40.2667	0.0846	0.0696	0.0150	0.0602	0.0244
163	40.5167	0.0835	0.0681	0.0154	0.0587	0.0248
164	40.7667	0.0822	0.0665	0.0157	0.0573	0.0249

Apêndice F7 - Resultados dos Modelos 1 e 2 para o Teste 4 (T=60,2°C e UR=19,9%)

Tempo de secagem = 35,3 horas

Raio inicial = 0,01530 m

Coefficiente de difusão (Modelo 1) = $2,100 \times 10^{-6}$ m²/h

Coefficiente de difusão (Modelo 2) = $6,670 \times 10^{-6}$ m²/h

Coefficiente convectivo (Modelo 2) = 0,000892 m/h

N	t(h)	REAL	MODELO 1		MODELO 2	
			CALC.	RES.	CALC.	RES.
1	0.0000	1.0000	0.9833	0.0167	0.9992	0.0008
2	0.2500	0.9846	0.8948	0.0898	0.9736	0.0109
3	0.5000	0.9668	0.8530	0.1138	0.9506	0.0161
4	0.7500	0.9490	0.8214	0.1276	0.9291	0.0198
5	1.0000	0.9315	0.7951	0.1364	0.9087	0.0228
6	1.2500	0.9126	0.7722	0.1403	0.8892	0.0233
7	1.5000	0.8934	0.7518	0.1417	0.8706	0.0229
8	1.7500	0.8763	0.7331	0.1431	0.8526	0.0237
9	2.0000	0.8599	0.7160	0.1439	0.8352	0.0247
10	2.2500	0.8439	0.7000	0.1439	0.8184	0.0255
11	2.5000	0.8257	0.6850	0.1407	0.8021	0.0236
12	2.7500	0.8093	0.6709	0.1384	0.7862	0.0230
13	3.0000	0.7937	0.6575	0.1363	0.7708	0.0229
14	3.2667	0.7779	0.6447	0.1331	0.7558	0.0220
15	3.5167	0.7619	0.6326	0.1293	0.7413	0.0206
16	3.7667	0.7465	0.6209	0.1256	0.7270	0.0195
17	4.0167	0.7322	0.6097	0.1224	0.7131	0.0190
18	4.2667	0.7184	0.5990	0.1194	0.6996	0.0188
19	4.5167	0.7045	0.5886	0.1159	0.6863	0.0182
20	4.7667	0.6895	0.5786	0.1110	0.6734	0.0162
21	5.0167	0.6764	0.5689	0.1075	0.6607	0.0157
22	5.2667	0.6635	0.5595	0.1040	0.6483	0.0152
23	5.5167	0.6509	0.5504	0.1005	0.6362	0.0147
24	5.7667	0.6376	0.5416	0.0961	0.6243	0.0133
25	6.0167	0.6250	0.5330	0.0920	0.6127	0.0123
26	6.2667	0.6131	0.5246	0.0884	0.6013	0.0118
27	6.5167	0.6017	0.5165	0.0852	0.5901	0.0115
28	6.7667	0.5904	0.5085	0.0818	0.5792	0.0112
29	7.0167	0.5783	0.5008	0.0774	0.5685	0.0098
30	7.2667	0.5671	0.4933	0.0739	0.5580	0.0092
31	7.5167	0.5563	0.4859	0.0704	0.5477	0.0087
32	7.7667	0.5459	0.4787	0.0672	0.5376	0.0083
33	8.0167	0.5351	0.4716	0.0635	0.5276	0.0075
34	8.2667	0.5245	0.4647	0.0598	0.5179	0.0066
35	8.5167	0.5144	0.4580	0.0564	0.5084	0.0060

36	8.7667	0.5047	0.4514	0.0533	0.4990	0.0056
37	9.0167	0.4951	0.4449	0.0502	0.4899	0.0052
38	9.2667	0.4850	0.4386	0.0465	0.4809	0.0042
39	9.5167	0.4757	0.4323	0.0434	0.4720	0.0037
40	9.7667	0.4666	0.4262	0.0404	0.4634	0.0032
41	10.0167	0.4577	0.4202	0.0374	0.4549	0.0028
42	10.2667	0.4489	0.4144	0.0345	0.4465	0.0024
43	10.5167	0.4399	0.4086	0.0313	0.4383	0.0015
44	10.7667	0.4314	0.4029	0.0284	0.4303	0.0011
45	11.0167	0.4232	0.3974	0.0258	0.4224	0.0008
46	11.2667	0.4151	0.3919	0.0232	0.4147	0.0005
47	11.5167	0.4070	0.3865	0.0205	0.4071	-0.0001
48	11.7667	0.3991	0.3812	0.0179	0.3996	-0.0005
49	12.0167	0.3914	0.3760	0.0153	0.3923	-0.0009
50	12.2667	0.3839	0.3709	0.0130	0.3851	-0.0012
51	12.5167	0.3765	0.3659	0.0106	0.3780	-0.0015
52	12.7667	0.3691	0.3610	0.0081	0.3711	-0.0020
53	13.0167	0.3621	0.3561	0.0060	0.3643	-0.0022
54	13.2667	0.3551	0.3513	0.0038	0.3576	-0.0025
55	13.5167	0.3483	0.3466	0.0017	0.3511	-0.0028
56	13.7667	0.3417	0.3419	-0.0002	0.3447	-0.0029
57	14.0167	0.3350	0.3374	-0.0024	0.3384	-0.0034
58	14.2667	0.3286	0.3329	-0.0043	0.3322	-0.0036
59	14.5167	0.3223	0.3284	-0.0062	0.3261	-0.0038
60	14.7667	0.3162	0.3241	-0.0079	0.3201	-0.0039
61	15.0167	0.3102	0.3198	-0.0095	0.3143	-0.0040
62	15.2667	0.3041	0.3155	-0.0114	0.3085	-0.0044
63	15.5167	0.2982	0.3114	-0.0131	0.3029	-0.0046
64	15.7667	0.2926	0.3073	-0.0146	0.2973	-0.0047
65	16.0167	0.2871	0.3032	-0.0161	0.2919	-0.0048
66	16.2667	0.2817	0.2992	-0.0176	0.2865	-0.0049
67	16.5167	0.2761	0.2953	-0.0191	0.2813	-0.0052
68	16.7667	0.2710	0.2914	-0.0204	0.2761	-0.0052
69	17.0167	0.2659	0.2876	-0.0217	0.2711	-0.0052
70	17.2667	0.2609	0.2838	-0.0229	0.2661	-0.0052
71	17.5167	0.2560	0.2801	-0.0241	0.2612	-0.0053
72	17.7667	0.2510	0.2764	-0.0255	0.2565	-0.0055
73	18.0167	0.2462	0.2728	-0.0266	0.2518	-0.0055
74	18.2667	0.2416	0.2692	-0.0277	0.2472	-0.0056
75	18.5167	0.2370	0.2657	-0.0287	0.2426	-0.0056
76	18.7667	0.2325	0.2622	-0.0297	0.2382	-0.0057
77	19.0167	0.2280	0.2588	-0.0308	0.2338	-0.0059
78	19.2667	0.2237	0.2555	-0.0318	0.2296	-0.0059
79	19.5167	0.2195	0.2521	-0.0327	0.2254	-0.0059
80	19.7667	0.2154	0.2488	-0.0334	0.2212	-0.0058
81	20.0167	0.2115	0.2456	-0.0341	0.2172	-0.0057
82	20.2667	0.2075	0.2424	-0.0349	0.2132	-0.0057
83	20.5167	0.2038	0.2393	-0.0355	0.2093	-0.0055

84	20.7667	0.2003	0.2362	-0.0359	0.2055	-0.0052
85	21.0167	0.1968	0.2331	-0.0362	0.2017	-0.0049
86	21.2667	0.1932	0.2301	-0.0369	0.1980	-0.0049
87	21.5167	0.1897	0.2271	-0.0374	0.1944	-0.0047
88	21.7667	0.1862	0.2241	-0.0379	0.1908	-0.0046
89	22.0167	0.1829	0.2212	-0.0383	0.1874	-0.0044
90	22.2667	0.1795	0.2184	-0.0389	0.1839	-0.0044
91	22.5167	0.1762	0.2155	-0.0394	0.1806	-0.0044
92	22.7667	0.1730	0.2127	-0.0397	0.1773	-0.0043
93	23.0167	0.1699	0.2100	-0.0401	0.1740	-0.0041
94	23.2667	0.1669	0.2073	-0.0403	0.1708	-0.0039
95	23.5167	0.1638	0.2046	-0.0408	0.1677	-0.0039
96	23.7667	0.1609	0.2019	-0.0410	0.1646	-0.0037
97	24.0167	0.1580	0.1993	-0.0413	0.1616	-0.0036
98	24.2667	0.1553	0.1967	-0.0415	0.1587	-0.0034
99	24.5167	0.1524	0.1942	-0.0418	0.1558	-0.0034
100	24.7667	0.1497	0.1917	-0.0420	0.1529	-0.0032
101	25.0167	0.1470	0.1892	-0.0422	0.1501	-0.0031
102	25.2667	0.1444	0.1868	-0.0424	0.1474	-0.0030
103	25.5167	0.1418	0.1844	-0.0426	0.1447	-0.0029
104	25.7667	0.1392	0.1820	-0.0427	0.1420	-0.0028
105	26.0167	0.1368	0.1796	-0.0429	0.1394	-0.0026
106	26.2667	0.1344	0.1773	-0.0429	0.1369	-0.0025
107	26.5167	0.1319	0.1750	-0.0431	0.1344	-0.0024
108	26.7667	0.1298	0.1728	-0.0430	0.1319	-0.0021
109	27.0167	0.1275	0.1705	-0.0430	0.1295	-0.0020
110	27.2667	0.1253	0.1683	-0.0430	0.1271	-0.0018
111	27.5167	0.1231	0.1662	-0.0431	0.1248	-0.0017
112	27.7667	0.1209	0.1640	-0.0431	0.1225	-0.0016
113	28.0167	0.1188	0.1619	-0.0431	0.1203	-0.0015
114	28.2667	0.1168	0.1598	-0.0430	0.1181	-0.0013
115	28.5167	0.1147	0.1577	-0.0431	0.1159	-0.0012
116	28.7667	0.1127	0.1557	-0.0430	0.1138	-0.0010
117	29.0167	0.1109	0.1537	-0.0428	0.1117	-0.0008
118	29.2667	0.1091	0.1517	-0.0426	0.1097	-0.0005
119	29.5167	0.1072	0.1498	-0.0425	0.1077	-0.0004
120	29.7667	0.1055	0.1478	-0.0424	0.1057	-0.0002
121	30.0167	0.1036	0.1459	-0.0423	0.1037	-0.0001
122	30.2667	0.1018	0.1440	-0.0423	0.1018	-0.0001
123	30.5167	0.0999	0.1422	-0.0423	0.1000	-0.0001
124	30.7667	0.0982	0.1403	-0.0422	0.0982	0.0000
125	31.0167	0.0965	0.1385	-0.0420	0.0964	0.0002
126	31.2667	0.0948	0.1368	-0.0420	0.0946	0.0002
127	31.5167	0.0930	0.1350	-0.0420	0.0929	0.0001
128	31.7667	0.0913	0.1333	-0.0419	0.0912	0.0002
129	32.0167	0.0899	0.1315	-0.0417	0.0895	0.0004
130	32.2667	0.0884	0.1298	-0.0415	0.0879	0.0005
131	32.5167	0.0867	0.1282	-0.0415	0.0863	0.0004

132	32.7667	0.0852	0.1265	-0.0413	0.0847	0.0005
133	33.0167	0.0837	0.1249	-0.0412	0.0831	0.0006
134	33.2667	0.0822	0.1233	-0.0410	0.0816	0.0006
135	33.5167	0.0808	0.1217	-0.0409	0.0801	0.0007
136	33.7667	0.0794	0.1201	-0.0407	0.0786	0.0008
137	34.0167	0.0780	0.1186	-0.0406	0.0772	0.0008
138	34.2667	0.0768	0.1170	-0.0403	0.0758	0.0010
139	34.5167	0.0755	0.1155	-0.0401	0.0744	0.0011
140	34.7667	0.0742	0.1140	-0.0399	0.0730	0.0011
141	35.0167	0.0729	0.1126	-0.0396	0.0717	0.0012
142	35.2667	0.0719	0.1111	-0.0392	0.0704	0.0015

Apêndice F8 - Resultados dos Modelos 3 e 4 para o Teste 4 (T=60,2°C e UR=19,9%)

Tempo de secagem = 35,3 horas

Raio inicial = 0,01530 m

Coefficiente de difusão (Modelo 3) = $1,170 \times 10^{-6}$ m²/h

Coefficiente de difusão (Modelo 4) = $1,640 \times 10^{-6}$ m²/h

Coefficiente convectivo (Modelo 4) = 0,001784 m/h

N	t(h)	REAL	MODELO 3		MODELO 4	
			CALC.	RES.	CALC.	RES.
1	0.0000	1.0000	0.9833	0.0167	0.9951	0.0049
2	0.2500	0.9846	0.9208	0.0638	0.9607	0.0239
3	0.5000	0.9668	0.8875	0.0793	0.9338	0.0329
4	0.7500	0.9490	0.8616	0.0874	0.9106	0.0383
5	1.0000	0.9315	0.8395	0.0920	0.8898	0.0417
6	1.2500	0.9126	0.8200	0.0926	0.8706	0.0420
7	1.5000	0.8934	0.8022	0.0913	0.8527	0.0407
8	1.7500	0.8763	0.7857	0.0905	0.8359	0.0403
9	2.0000	0.8599	0.7703	0.0895	0.8200	0.0399
10	2.2500	0.8439	0.7558	0.0881	0.8047	0.0392
11	2.5000	0.8257	0.7420	0.0836	0.7901	0.0355
12	2.7500	0.8093	0.7289	0.0804	0.7761	0.0332
13	3.0000	0.7937	0.7162	0.0775	0.7625	0.0312
14	3.2667	0.7779	0.7041	0.0738	0.7494	0.0284
15	3.5167	0.7619	0.6923	0.0695	0.7367	0.0252
16	3.7667	0.7465	0.6810	0.0656	0.7243	0.0222
17	4.0167	0.7322	0.6700	0.0622	0.7123	0.0199
18	4.2667	0.7184	0.6593	0.0591	0.7005	0.0179
19	4.5167	0.7045	0.6488	0.0557	0.6890	0.0155
20	4.7667	0.6895	0.6387	0.0509	0.6778	0.0118
21	5.0167	0.6764	0.6287	0.0477	0.6668	0.0096
22	5.2667	0.6635	0.6190	0.0445	0.6560	0.0075
23	5.5167	0.6509	0.6095	0.0413	0.6454	0.0054
24	5.7667	0.6376	0.6002	0.0374	0.6351	0.0026
25	6.0167	0.6250	0.5911	0.0339	0.6249	0.0001
26	6.2667	0.6131	0.5821	0.0309	0.6149	-0.0018
27	6.5167	0.6017	0.5733	0.0283	0.6050	-0.0033
28	6.7667	0.5904	0.5647	0.0257	0.5953	-0.0049
29	7.0167	0.5783	0.5562	0.0221	0.5857	-0.0075
30	7.2667	0.5671	0.5478	0.0193	0.5763	-0.0092
31	7.5167	0.5563	0.5396	0.0167	0.5671	-0.0107
32	7.7667	0.5459	0.5315	0.0144	0.5579	-0.0120
33	8.0167	0.5351	0.5235	0.0116	0.5489	-0.0138
34	8.2667	0.5245	0.5156	0.0089	0.5400	-0.0155
35	8.5167	0.5144	0.5079	0.0065	0.5312	-0.0168
36	8.7667	0.5047	0.5002	0.0045	0.5225	-0.0179

37	9.0167	0.4951	0.4926	0.0025	0.5140	-0.0188
38	9.2667	0.4850	0.4852	-0.0001	0.5055	-0.0205
39	9.5167	0.4757	0.4778	-0.0021	0.4971	-0.0214
40	9.7667	0.4666	0.4705	-0.0039	0.4889	-0.0223
41	10.0167	0.4577	0.4633	-0.0057	0.4807	-0.0230
42	10.2667	0.4489	0.4562	-0.0073	0.4726	-0.0237
43	10.5167	0.4399	0.4492	-0.0093	0.4646	-0.0248
44	10.7667	0.4314	0.4423	-0.0109	0.4567	-0.0254
45	11.0167	0.4232	0.4354	-0.0122	0.4489	-0.0257
46	11.2667	0.4151	0.4286	-0.0135	0.4412	-0.0261
47	11.5167	0.4070	0.4219	-0.0149	0.4336	-0.0266
48	11.7667	0.3991	0.4153	-0.0162	0.4260	-0.0269
49	12.0167	0.3914	0.4087	-0.0173	0.4185	-0.0271
50	12.2667	0.3839	0.4022	-0.0183	0.4111	-0.0272
51	12.5167	0.3765	0.3958	-0.0192	0.4038	-0.0272
52	12.7667	0.3691	0.3894	-0.0203	0.3965	-0.0275
53	13.0167	0.3621	0.3831	-0.0210	0.3894	-0.0273
54	13.2667	0.3551	0.3769	-0.0217	0.3823	-0.0271
55	13.5167	0.3483	0.3707	-0.0224	0.3753	-0.0270
56	13.7667	0.3417	0.3646	-0.0229	0.3683	-0.0266
57	14.0167	0.3350	0.3586	-0.0236	0.3615	-0.0265
58	14.2667	0.3286	0.3526	-0.0240	0.3547	-0.0261
59	14.5167	0.3223	0.3467	-0.0244	0.3480	-0.0257
60	14.7667	0.3162	0.3408	-0.0246	0.3413	-0.0251
61	15.0167	0.3102	0.3350	-0.0248	0.3347	-0.0245
62	15.2667	0.3041	0.3293	-0.0252	0.3283	-0.0241
63	15.5167	0.2982	0.3236	-0.0254	0.3218	-0.0236
64	15.7667	0.2926	0.3180	-0.0254	0.3155	-0.0229
65	16.0167	0.2871	0.3124	-0.0253	0.3092	-0.0221
66	16.2667	0.2817	0.3069	-0.0253	0.3030	-0.0213
67	16.5167	0.2761	0.3015	-0.0253	0.2969	-0.0207
68	16.7667	0.2710	0.2961	-0.0251	0.2908	-0.0199
69	17.0167	0.2659	0.2907	-0.0249	0.2848	-0.0190
70	17.2667	0.2609	0.2855	-0.0246	0.2789	-0.0180
71	17.5167	0.2560	0.2803	-0.0243	0.2731	-0.0171
72	17.7667	0.2510	0.2751	-0.0241	0.2673	-0.0164
73	18.0167	0.2462	0.2700	-0.0238	0.2616	-0.0154
74	18.2667	0.2416	0.2649	-0.0234	0.2560	-0.0144
75	18.5167	0.2370	0.2600	-0.0229	0.2505	-0.0135
76	18.7667	0.2325	0.2550	-0.0225	0.2450	-0.0125
77	19.0167	0.2280	0.2502	-0.0222	0.2396	-0.0116
78	19.2667	0.2237	0.2453	-0.0217	0.2343	-0.0106
79	19.5167	0.2195	0.2406	-0.0211	0.2291	-0.0096
80	19.7667	0.2154	0.2359	-0.0204	0.2239	-0.0085
81	20.0167	0.2115	0.2312	-0.0197	0.2188	-0.0073
82	20.2667	0.2075	0.2266	-0.0191	0.2138	-0.0063
83	20.5167	0.2038	0.2221	-0.0183	0.2089	-0.0051
84	20.7667	0.2003	0.2176	-0.0174	0.2040	-0.0037

85	21.0167	0.1968	0.2132	-0.0164	0.1992	-0.0024
86	21.2667	0.1932	0.2089	-0.0157	0.1945	-0.0014
87	21.5167	0.1897	0.2046	-0.0149	0.1899	-0.0002
88	21.7667	0.1862	0.2003	-0.0141	0.1853	0.0009
89	22.0167	0.1829	0.1961	-0.0132	0.1809	0.0021
90	22.2667	0.1795	0.1920	-0.0125	0.1764	0.0030
91	22.5167	0.1762	0.1879	-0.0118	0.1721	0.0040
92	22.7667	0.1730	0.1839	-0.0109	0.1679	0.0051
93	23.0167	0.1699	0.1800	-0.0100	0.1637	0.0062
94	23.2667	0.1669	0.1761	-0.0091	0.1596	0.0074
95	23.5167	0.1638	0.1722	-0.0085	0.1556	0.0082
96	23.7667	0.1609	0.1685	-0.0076	0.1516	0.0093
97	24.0167	0.1580	0.1647	-0.0067	0.1477	0.0103
98	24.2667	0.1553	0.1611	-0.0058	0.1439	0.0114
99	24.5167	0.1524	0.1575	-0.0051	0.1402	0.0122
100	24.7667	0.1497	0.1539	-0.0043	0.1365	0.0131
101	25.0167	0.1470	0.1504	-0.0034	0.1330	0.0141
102	25.2667	0.1444	0.1470	-0.0026	0.1294	0.0150
103	25.5167	0.1418	0.1436	-0.0018	0.1260	0.0158
104	25.7667	0.1392	0.1403	-0.0011	0.1226	0.0166
105	26.0167	0.1368	0.1370	-0.0003	0.1193	0.0174
106	26.2667	0.1344	0.1338	0.0006	0.1161	0.0183
107	26.5167	0.1319	0.1307	0.0013	0.1129	0.0190
108	26.7667	0.1298	0.1276	0.0022	0.1099	0.0199
109	27.0167	0.1275	0.1245	0.0029	0.1068	0.0206
110	27.2667	0.1253	0.1216	0.0037	0.1039	0.0214
111	27.5167	0.1231	0.1186	0.0045	0.1010	0.0221
112	27.7667	0.1209	0.1158	0.0051	0.0982	0.0227
113	28.0167	0.1188	0.1129	0.0059	0.0954	0.0234
114	28.2667	0.1168	0.1102	0.0066	0.0927	0.0241
115	28.5167	0.1147	0.1075	0.0072	0.0901	0.0246
116	28.7667	0.1127	0.1048	0.0080	0.0875	0.0252
117	29.0167	0.1109	0.1022	0.0087	0.0850	0.0259
118	29.2667	0.1091	0.0996	0.0095	0.0826	0.0266
119	29.5167	0.1072	0.0971	0.0101	0.0802	0.0270
120	29.7667	0.1055	0.0947	0.0108	0.0778	0.0276
121	30.0167	0.1036	0.0923	0.0114	0.0756	0.0280
122	30.2667	0.1018	0.0899	0.0119	0.0734	0.0284
123	30.5167	0.0999	0.0876	0.0122	0.0712	0.0286
124	30.7667	0.0982	0.0854	0.0128	0.0691	0.0291
125	31.0167	0.0965	0.0831	0.0134	0.0671	0.0295
126	31.2667	0.0948	0.0810	0.0138	0.0651	0.0297
127	31.5167	0.0930	0.0789	0.0141	0.0631	0.0299
128	31.7667	0.0913	0.0768	0.0145	0.0612	0.0301
129	32.0167	0.0899	0.0748	0.0151	0.0594	0.0305
130	32.2667	0.0884	0.0728	0.0156	0.0576	0.0308
131	32.5167	0.0867	0.0709	0.0158	0.0559	0.0308
132	32.7667	0.0852	0.0690	0.0162	0.0542	0.0311

133	33.0167	0.0837	0.0671	0.0166	0.0525	0.0312
134	33.2667	0.0822	0.0653	0.0169	0.0509	0.0313
135	33.5167	0.0808	0.0636	0.0172	0.0493	0.0315
136	33.7667	0.0794	0.0619	0.0175	0.0478	0.0316
137	34.0167	0.0780	0.0602	0.0178	0.0463	0.0317
138	34.2667	0.0768	0.0586	0.0182	0.0449	0.0319
139	34.5167	0.0755	0.0570	0.0185	0.0435	0.0320
140	34.7667	0.0742	0.0554	0.0188	0.0422	0.0320
141	35.0167	0.0729	0.0539	0.0191	0.0408	0.0321
142	35.2667	0.0719	0.0524	0.0195	0.0396	0.0323

Apêndice F9 - Resultados dos Modelos 1 e 2 para o Teste 5 (T=60,5°C e UR=10,7%)

Tempo de secagem = 27,8 horas

Raio inicial = 0,01506 m

Coefficiente de difusão (Modelo 1) = $2,255 \times 10^{-6}$ m²/h

Coefficiente de difusão (Modelo 2) = $5,736 \times 10^{-6}$ m²/h

Coefficiente convectivo (Modelo 2) = 0,001137 m/h

N	t(h)	REAL	MODELO 1		MODELO 2	
			CALC.	RES.	CALC.	RES.
1	0.0000	1.0000	0.9833	0.0167	0.9988	0.0012
2	0.2500	0.9779	0.8894	0.0885	0.9673	0.0106
3	0.5000	0.9534	0.8455	0.1079	0.9398	0.0136
4	0.7500	0.9295	0.8124	0.1171	0.9146	0.0149
5	1.0000	0.9069	0.7848	0.1220	0.8910	0.0159
6	1.2500	0.8847	0.7609	0.1238	0.8688	0.0159
7	1.5000	0.8636	0.7395	0.1242	0.8477	0.0159
8	1.7500	0.8431	0.7200	0.1231	0.8275	0.0156
9	2.0000	0.8233	0.7021	0.1212	0.8083	0.0150
10	2.2500	0.8044	0.6854	0.1190	0.7897	0.0146
11	2.5000	0.7858	0.6697	0.1161	0.7719	0.0139
12	2.7500	0.7678	0.6550	0.1128	0.7546	0.0132
13	3.0500	0.7472	0.6410	0.1062	0.7380	0.0092
14	3.3000	0.7306	0.6278	0.1028	0.7219	0.0087
15	3.5500	0.7146	0.6151	0.0995	0.7062	0.0083
16	3.8000	0.6990	0.6030	0.0960	0.6911	0.0079
17	4.0500	0.6838	0.5913	0.0925	0.6763	0.0075
18	4.3000	0.6692	0.5802	0.0890	0.6620	0.0072
19	4.5500	0.6550	0.5694	0.0856	0.6481	0.0069
20	4.8000	0.6411	0.5590	0.0821	0.6345	0.0066
21	5.0500	0.6277	0.5489	0.0788	0.6213	0.0065
22	5.3000	0.6146	0.5392	0.0754	0.6084	0.0062
23	5.5500	0.6018	0.5298	0.0720	0.5958	0.0060
24	5.8000	0.5893	0.5206	0.0687	0.5835	0.0058
25	6.0500	0.5771	0.5117	0.0654	0.5715	0.0056
26	6.3000	0.5653	0.5031	0.0622	0.5598	0.0055
27	6.5500	0.5536	0.4946	0.0590	0.5483	0.0053
28	6.7667	0.5438	0.4864	0.0574	0.5372	0.0066
29	6.9833	0.5341	0.4784	0.0556	0.5262	0.0078
30	7.2333	0.5233	0.4706	0.0526	0.5155	0.0077
31	7.4833	0.5125	0.4630	0.0495	0.5051	0.0074
32	7.7333	0.5020	0.4556	0.0464	0.4949	0.0072
33	7.9833	0.4918	0.4483	0.0435	0.4849	0.0069
34	8.2333	0.4816	0.4412	0.0404	0.4751	0.0066
35	8.4833	0.4719	0.4343	0.0376	0.4655	0.0064
36	8.7333	0.4621	0.4275	0.0346	0.4561	0.0060

37	8.9833	0.4526	0.4208	0.0318	0.4469	0.0057
38	9.2333	0.4435	0.4143	0.0292	0.4379	0.0056
39	9.4833	0.4342	0.4079	0.0263	0.4291	0.0051
40	9.7333	0.4254	0.4017	0.0237	0.4205	0.0049
41	9.9833	0.4166	0.3955	0.0211	0.4121	0.0045
42	10.2333	0.4081	0.3895	0.0186	0.4038	0.0043
43	10.4833	0.3996	0.3836	0.0160	0.3957	0.0039
44	10.7333	0.3914	0.3778	0.0136	0.3878	0.0036
45	10.9833	0.3834	0.3721	0.0113	0.3800	0.0034
46	11.2333	0.3754	0.3665	0.0089	0.3724	0.0030
47	11.4833	0.3677	0.3610	0.0067	0.3649	0.0028
48	11.7333	0.3601	0.3557	0.0045	0.3576	0.0025
49	11.9833	0.3526	0.3504	0.0023	0.3505	0.0022
50	12.2333	0.3454	0.3452	0.0002	0.3435	0.0019
51	12.4833	0.3381	0.3400	-0.0019	0.3366	0.0015
52	12.7333	0.3312	0.3350	-0.0038	0.3299	0.0013
53	12.9833	0.3243	0.3301	-0.0057	0.3233	0.0011
54	13.2333	0.3177	0.3252	-0.0075	0.3168	0.0009
55	13.4833	0.3111	0.3204	-0.0093	0.3105	0.0006
56	13.7333	0.3047	0.3157	-0.0110	0.3043	0.0004
57	13.9833	0.2984	0.3111	-0.0127	0.2982	0.0002
58	14.2333	0.2921	0.3066	-0.0145	0.2922	-0.0001
59	14.4833	0.2861	0.3021	-0.0160	0.2864	-0.0003
60	14.7333	0.2801	0.2977	-0.0175	0.2807	-0.0005
61	14.9833	0.2743	0.2933	-0.0191	0.2750	-0.0008
62	15.2333	0.2685	0.2891	-0.0206	0.2695	-0.0011
63	15.4833	0.2627	0.2849	-0.0221	0.2642	-0.0014
64	15.7333	0.2572	0.2807	-0.0236	0.2589	-0.0017
65	15.9833	0.2518	0.2767	-0.0248	0.2537	-0.0019
66	16.2333	0.2464	0.2727	-0.0263	0.2486	-0.0023
67	16.4833	0.2413	0.2687	-0.0274	0.2437	-0.0024
68	16.7333	0.2361	0.2648	-0.0287	0.2388	-0.0027
69	16.9833	0.2311	0.2610	-0.0299	0.2340	-0.0029
70	17.2333	0.2262	0.2572	-0.0310	0.2294	-0.0032
71	17.4833	0.2215	0.2535	-0.0320	0.2248	-0.0033
72	17.7333	0.2168	0.2499	-0.0330	0.2203	-0.0035
73	17.9833	0.2122	0.2463	-0.0340	0.2159	-0.0037
74	18.2333	0.2076	0.2427	-0.0351	0.2116	-0.0040
75	18.4833	0.2031	0.2392	-0.0361	0.2074	-0.0042
76	18.7333	0.1989	0.2358	-0.0369	0.2032	-0.0044
77	18.9833	0.1946	0.2324	-0.0378	0.1992	-0.0046
78	19.2333	0.1904	0.2290	-0.0386	0.1952	-0.0048
79	19.4833	0.1864	0.2258	-0.0394	0.1913	-0.0049
80	19.7333	0.1824	0.2225	-0.0401	0.1875	-0.0050
81	19.9833	0.1786	0.2193	-0.0407	0.1837	-0.0051
82	20.2333	0.1747	0.2162	-0.0414	0.1801	-0.0053
83	20.4833	0.1711	0.2131	-0.0420	0.1765	-0.0054
84	20.7333	0.1675	0.2100	-0.0425	0.1729	-0.0055

85	20.9833	0.1639	0.2070	-0.0431	0.1695	-0.0055
86	21.2333	0.1605	0.2040	-0.0435	0.1661	-0.0056
87	21.4833	0.1571	0.2011	-0.0440	0.1628	-0.0057
88	21.7333	0.1540	0.1982	-0.0442	0.1595	-0.0055
89	21.9833	0.1508	0.1954	-0.0446	0.1563	-0.0055
90	22.2333	0.1477	0.1926	-0.0449	0.1532	-0.0055
91	22.4833	0.1447	0.1898	-0.0451	0.1502	-0.0054
92	22.7333	0.1416	0.1871	-0.0455	0.1472	-0.0055
93	22.9833	0.1387	0.1844	-0.0457	0.1442	-0.0055
94	23.2333	0.1360	0.1818	-0.0458	0.1413	-0.0054
95	23.4833	0.1331	0.1792	-0.0461	0.1385	-0.0054
96	23.7333	0.1304	0.1766	-0.0462	0.1358	-0.0053
97	23.9833	0.1279	0.1741	-0.0463	0.1330	-0.0052
98	24.2333	0.1254	0.1716	-0.0462	0.1304	-0.0050
99	24.4833	0.1230	0.1692	-0.0461	0.1278	-0.0047
100	24.7333	0.1205	0.1668	-0.0463	0.1252	-0.0047
101	24.9833	0.1180	0.1644	-0.0463	0.1227	-0.0047
102	25.2333	0.1157	0.1620	-0.0463	0.1203	-0.0046
103	25.4833	0.1134	0.1597	-0.0463	0.1179	-0.0044
104	25.7333	0.1112	0.1574	-0.0462	0.1155	-0.0043
105	25.9833	0.1090	0.1552	-0.0462	0.1132	-0.0043
106	26.2333	0.1067	0.1530	-0.0462	0.1110	-0.0042
107	26.4833	0.1046	0.1508	-0.0462	0.1087	-0.0042
108	26.7333	0.1026	0.1486	-0.0460	0.1066	-0.0039
109	26.9833	0.1007	0.1465	-0.0458	0.1044	-0.0037
110	27.2333	0.0987	0.1444	-0.0457	0.1024	-0.0037
111	27.4833	0.0968	0.1423	-0.0456	0.1003	-0.0035
112	27.7333	0.0949	0.1403	-0.0455	0.0983	-0.0035

Apêndice F10 - Resultados dos Modelos 3 e 4 para o Teste 5 (T=60,5°C e UR=10,7%)

Tempo de secagem = 27,8 horas

Raio inicial = 0,01506 m

Coeficiente de difusão (Modelo 3) = $1,303 \times 10^{-6}$ m²/hCoeficiente de difusão (Modelo 4) = $1,663 \times 10^{-6}$ m²/h

Coeficiente convectivo (Modelo 4) = 0,002701 m/h

N	t(h)	REAL	MODELO 3		MODELO 4	
			CALC.	RES.	CALC.	RES.
1	0.0000	1.0000	0.9833	0.0167	0.9937	0.0063
2	0.2500	0.9779	0.9164	0.0614	0.9505	0.0274
3	0.5000	0.9534	0.8811	0.0724	0.9192	0.0343
4	0.7500	0.9295	0.8536	0.0760	0.8928	0.0367
5	1.0000	0.9069	0.8301	0.0767	0.8696	0.0373
6	1.2500	0.8847	0.8093	0.0753	0.8485	0.0362
7	1.5000	0.8636	0.7904	0.0732	0.8290	0.0346
8	1.7500	0.8431	0.7729	0.0702	0.8108	0.0324
9	2.0000	0.8233	0.7565	0.0668	0.7936	0.0297
10	2.2500	0.8044	0.7410	0.0633	0.7772	0.0271
11	2.5000	0.7858	0.7263	0.0594	0.7616	0.0241
12	2.7500	0.7678	0.7123	0.0555	0.7467	0.0212
13	3.0500	0.7472	0.6988	0.0484	0.7322	0.0150
14	3.3000	0.7306	0.6858	0.0447	0.7183	0.0123
15	3.5500	0.7146	0.6733	0.0412	0.7048	0.0097
16	3.8000	0.6990	0.6612	0.0378	0.6917	0.0072
17	4.0500	0.6838	0.6494	0.0344	0.6790	0.0048
18	4.3000	0.6692	0.6379	0.0312	0.6666	0.0026
19	4.5500	0.6550	0.6268	0.0282	0.6545	0.0005
20	4.8000	0.6411	0.6159	0.0252	0.6427	-0.0016
21	5.0500	0.6277	0.6053	0.0225	0.6311	-0.0034
22	5.3000	0.6146	0.5949	0.0197	0.6198	-0.0052
23	5.5500	0.6018	0.5847	0.0171	0.6087	-0.0069
24	5.8000	0.5893	0.5747	0.0145	0.5978	-0.0085
25	6.0500	0.5771	0.5650	0.0121	0.5871	-0.0100
26	6.3000	0.5653	0.5554	0.0099	0.5766	-0.0113
27	6.5500	0.5536	0.5459	0.0077	0.5663	-0.0126
28	6.7667	0.5438	0.5367	0.0071	0.5561	-0.0123
29	6.9833	0.5341	0.5276	0.0065	0.5461	-0.0120
30	7.2333	0.5233	0.5186	0.0047	0.5363	-0.0130
31	7.4833	0.5125	0.5098	0.0027	0.5266	-0.0141
32	7.7333	0.5020	0.5011	0.0010	0.5170	-0.0150
33	7.9833	0.4918	0.4925	-0.0007	0.5076	-0.0158
34	8.2333	0.4816	0.4841	-0.0024	0.4983	-0.0167
35	8.4833	0.4719	0.4757	-0.0038	0.4891	-0.0172
36	8.7333	0.4621	0.4675	-0.0054	0.4801	-0.0180

37	8.9833	0.4526	0.4594	-0.0068	0.4712	-0.0186
38	9.2333	0.4435	0.4514	-0.0079	0.4623	-0.0188
39	9.4833	0.4342	0.4435	-0.0093	0.4536	-0.0194
40	9.7333	0.4254	0.4357	-0.0103	0.4450	-0.0197
41	9.9833	0.4166	0.4280	-0.0114	0.4365	-0.0199
42	10.2333	0.4081	0.4204	-0.0123	0.4281	-0.0201
43	10.4833	0.3996	0.4129	-0.0132	0.4198	-0.0202
44	10.7333	0.3914	0.4054	-0.0140	0.4117	-0.0202
45	10.9833	0.3834	0.3981	-0.0147	0.4036	-0.0202
46	11.2333	0.3754	0.3908	-0.0155	0.3955	-0.0202
47	11.4833	0.3677	0.3837	-0.0160	0.3876	-0.0199
48	11.7333	0.3601	0.3766	-0.0165	0.3798	-0.0197
49	11.9833	0.3526	0.3696	-0.0169	0.3721	-0.0195
50	12.2333	0.3454	0.3626	-0.0173	0.3645	-0.0191
51	12.4833	0.3381	0.3558	-0.0177	0.3569	-0.0188
52	12.7333	0.3312	0.3490	-0.0178	0.3495	-0.0183
53	12.9833	0.3243	0.3423	-0.0180	0.3421	-0.0177
54	13.2333	0.3177	0.3357	-0.0180	0.3348	-0.0171
55	13.4833	0.3111	0.3291	-0.0180	0.3276	-0.0165
56	13.7333	0.3047	0.3227	-0.0180	0.3205	-0.0158
57	13.9833	0.2984	0.3163	-0.0179	0.3135	-0.0151
58	14.2333	0.2921	0.3099	-0.0178	0.3066	-0.0145
59	14.4833	0.2861	0.3037	-0.0176	0.2997	-0.0136
60	14.7333	0.2801	0.2975	-0.0174	0.2930	-0.0128
61	14.9833	0.2743	0.2914	-0.0171	0.2863	-0.0121
62	15.2333	0.2685	0.2854	-0.0169	0.2797	-0.0112
63	15.4833	0.2627	0.2794	-0.0167	0.2732	-0.0105
64	15.7333	0.2572	0.2735	-0.0163	0.2668	-0.0097
65	15.9833	0.2518	0.2677	-0.0159	0.2605	-0.0087
66	16.2333	0.2464	0.2619	-0.0156	0.2543	-0.0079
67	16.4833	0.2413	0.2563	-0.0150	0.2482	-0.0069
68	16.7333	0.2361	0.2507	-0.0145	0.2421	-0.0060
69	16.9833	0.2311	0.2452	-0.0140	0.2362	-0.0051
70	17.2333	0.2262	0.2397	-0.0135	0.2303	-0.0041
71	17.4833	0.2215	0.2343	-0.0128	0.2246	-0.0031
72	17.7333	0.2168	0.2290	-0.0122	0.2189	-0.0021
73	17.9833	0.2122	0.2238	-0.0116	0.2133	-0.0011
74	18.2333	0.2076	0.2186	-0.0110	0.2078	-0.0002
75	18.4833	0.2031	0.2136	-0.0104	0.2024	0.0007
76	18.7333	0.1989	0.2086	-0.0097	0.1971	0.0018
77	18.9833	0.1946	0.2036	-0.0090	0.1919	0.0027
78	19.2333	0.1904	0.1988	-0.0083	0.1867	0.0037
79	19.4833	0.1864	0.1940	-0.0076	0.1817	0.0047
80	19.7333	0.1824	0.1893	-0.0069	0.1768	0.0057
81	19.9833	0.1786	0.1846	-0.0061	0.1719	0.0067
82	20.2333	0.1747	0.1801	-0.0054	0.1672	0.0076
83	20.4833	0.1711	0.1756	-0.0045	0.1625	0.0086
84	20.7333	0.1675	0.1712	-0.0037	0.1579	0.0096

85	20.9833	0.1639	0.1669	-0.0029	0.1534	0.0105
86	21.2333	0.1605	0.1626	-0.0021	0.1490	0.0115
87	21.4833	0.1571	0.1584	-0.0013	0.1448	0.0124
88	21.7333	0.1540	0.1543	-0.0003	0.1405	0.0135
89	21.9833	0.1508	0.1503	0.0005	0.1364	0.0144
90	22.2333	0.1477	0.1464	0.0014	0.1324	0.0153
91	22.4833	0.1447	0.1425	0.0022	0.1285	0.0163
92	22.7333	0.1416	0.1387	0.0030	0.1246	0.0170
93	22.9833	0.1387	0.1349	0.0038	0.1209	0.0179
94	23.2333	0.1360	0.1313	0.0047	0.1172	0.0188
95	23.4833	0.1331	0.1277	0.0054	0.1136	0.0195
96	23.7333	0.1304	0.1242	0.0062	0.1101	0.0203
97	23.9833	0.1279	0.1208	0.0071	0.1067	0.0212
98	24.2333	0.1254	0.1174	0.0080	0.1034	0.0220
99	24.4833	0.1230	0.1141	0.0089	0.1001	0.0229
100	24.7333	0.1205	0.1109	0.0096	0.0970	0.0235
101	24.9833	0.1180	0.1077	0.0103	0.0939	0.0241
102	25.2333	0.1157	0.1046	0.0110	0.0909	0.0248
103	25.4833	0.1134	0.1016	0.0118	0.0880	0.0255
104	25.7333	0.1112	0.0987	0.0125	0.0851	0.0261
105	25.9833	0.1090	0.0958	0.0131	0.0823	0.0266
106	26.2333	0.1067	0.0930	0.0137	0.0796	0.0271
107	26.4833	0.1046	0.0903	0.0143	0.0770	0.0275
108	26.7333	0.1027	0.0876	0.0151	0.0745	0.0282
109	26.9833	0.1007	0.0850	0.0157	0.0720	0.0287
110	27.2333	0.0987	0.0824	0.0163	0.0696	0.0291
111	27.4833	0.0968	0.0800	0.0168	0.0673	0.0295
112	27.7333	0.0949	0.0775	0.0173	0.0650	0.0298

Apêndice F11 - Resultados dos Modelos 1 e 2 para o Teste 6 (T=68,4°C e UR=7,3%)

Tempo de secagem = 27,6 horas

Raio inicial = 0,01545 m

Coeficiente de difusão (Modelo 1) = $2,511 \times 10^{-6}$ m²/hCoeficiente de difusão (Modelo 2) = $1,070 \times 10^{-5}$ m²/h

Coeficiente convectivo (Modelo 2) = 0,000951 m/h

N	t(h)	REAL	MODELO 1		MODELO 2	
			CALC.	RES.	CALC.	RES.
1	0.0000	1.0000	0.9833	0.0167	0.9994	0.0006
2	0.2500	0.9879	0.8864	0.1016	0.9719	0.0160
3	0.5000	0.9660	0.8413	0.1247	0.9468	0.0192
4	0.7500	0.9433	0.8073	0.1360	0.9231	0.0202
5	1.0000	0.9212	0.7790	0.1422	0.9005	0.0206
6	1.2500	0.9001	0.7544	0.1456	0.8789	0.0212
7	1.5000	0.8800	0.7325	0.1475	0.8581	0.0219
8	1.7500	0.8600	0.7125	0.1474	0.8380	0.0219
9	2.0000	0.8404	0.6942	0.1463	0.8186	0.0219
10	2.2500	0.8216	0.6771	0.1446	0.7997	0.0219
11	2.5000	0.8032	0.6611	0.1421	0.7814	0.0218
12	2.7500	0.7854	0.6460	0.1394	0.7636	0.0217
13	3.0000	0.7671	0.6317	0.1354	0.7463	0.0207
14	3.3000	0.7444	0.6182	0.1263	0.7295	0.0149
15	3.5500	0.7279	0.6052	0.1227	0.7131	0.0148
16	3.8167	0.7107	0.5928	0.1178	0.6971	0.0136
17	4.0667	0.6950	0.5809	0.1141	0.6815	0.0135
18	4.3167	0.6800	0.5695	0.1105	0.6663	0.0137
19	4.5667	0.6654	0.5585	0.1068	0.6514	0.0140
20	4.8167	0.6511	0.5479	0.1032	0.6369	0.0142
21	5.0667	0.6371	0.5377	0.0995	0.6227	0.0144
22	5.3167	0.6235	0.5277	0.0958	0.6089	0.0146
23	5.5667	0.6102	0.5181	0.0920	0.5954	0.0148
24	5.8167	0.5971	0.5088	0.0883	0.5821	0.0149
25	6.0667	0.5844	0.4997	0.0846	0.5692	0.0151
26	6.3167	0.5718	0.4909	0.0809	0.5566	0.0152
27	6.5667	0.5592	0.4823	0.0769	0.5443	0.0149
28	6.8167	0.5466	0.4740	0.0726	0.5322	0.0144
29	7.1000	0.5329	0.4659	0.0670	0.5204	0.0125
30	7.3500	0.5208	0.4579	0.0629	0.5089	0.0119
31	7.6000	0.5090	0.4502	0.0588	0.4976	0.0114
32	7.8500	0.4977	0.4427	0.0551	0.4866	0.0111
33	8.1000	0.4865	0.4353	0.0513	0.4759	0.0107
34	8.3500	0.4759	0.4281	0.0478	0.4653	0.0106
35	8.6000	0.4655	0.4210	0.0445	0.4550	0.0105
36	8.8500	0.4552	0.4141	0.0411	0.4450	0.0103

37	9.1000	0.4453	0.4074	0.0380	0.4351	0.0102
38	9.3500	0.4357	0.4008	0.0350	0.4255	0.0102
39	9.6000	0.4261	0.3943	0.0318	0.4161	0.0100
40	9.8500	0.4166	0.3879	0.0286	0.4069	0.0097
41	10.1000	0.4075	0.3817	0.0257	0.3979	0.0096
42	10.3500	0.3984	0.3756	0.0227	0.3891	0.0093
43	10.6000	0.3894	0.3697	0.0197	0.3805	0.0089
44	10.8500	0.3805	0.3638	0.0167	0.3721	0.0085
45	11.1000	0.3715	0.3580	0.0135	0.3638	0.0077
46	11.3500	0.3631	0.3524	0.0107	0.3558	0.0073
47	11.6000	0.3547	0.3469	0.0079	0.3479	0.0068
48	11.8500	0.3466	0.3414	0.0052	0.3402	0.0064
49	12.1000	0.3385	0.3361	0.0025	0.3327	0.0058
50	12.3500	0.3307	0.3308	-0.0001	0.3254	0.0054
51	12.6000	0.3230	0.3257	-0.0027	0.3182	0.0049
52	12.8500	0.3156	0.3206	-0.0051	0.3111	0.0044
53	13.1000	0.3080	0.3156	-0.0077	0.3042	0.0038
54	13.3500	0.3005	0.3108	-0.0102	0.2975	0.0030
55	13.6000	0.2934	0.3060	-0.0126	0.2909	0.0024
56	13.8500	0.2864	0.3012	-0.0148	0.2845	0.0019
57	14.1000	0.2796	0.2966	-0.0170	0.2782	0.0014
58	14.3500	0.2728	0.2920	-0.0192	0.2721	0.0008
59	14.6000	0.2663	0.2875	-0.0212	0.2660	0.0002
60	14.8500	0.2599	0.2831	-0.0232	0.2602	-0.0003
61	15.1000	0.2536	0.2788	-0.0252	0.2544	-0.0008
62	15.3500	0.2474	0.2745	-0.0271	0.2488	-0.0014
63	15.6000	0.2412	0.2703	-0.0290	0.2433	-0.0020
64	15.8500	0.2352	0.2662	-0.0309	0.2379	-0.0027
65	16.1000	0.2293	0.2621	-0.0328	0.2326	-0.0033
66	16.3500	0.2237	0.2581	-0.0344	0.2275	-0.0038
67	16.6000	0.2180	0.2541	-0.0361	0.2225	-0.0045
68	16.8500	0.2126	0.2503	-0.0376	0.2175	-0.0049
69	17.1000	0.2074	0.2465	-0.0391	0.2127	-0.0054
70	17.3500	0.2021	0.2427	-0.0406	0.2080	-0.0059
71	17.6000	0.1971	0.2390	-0.0419	0.2034	-0.0063
72	17.8500	0.1921	0.2354	-0.0433	0.1989	-0.0068
73	18.1000	0.1873	0.2318	-0.0445	0.1945	-0.0072
74	18.3500	0.1826	0.2283	-0.0457	0.1902	-0.0076
75	18.6000	0.1778	0.2248	-0.0470	0.1860	-0.0082
76	18.8500	0.1732	0.2214	-0.0482	0.1819	-0.0087
77	19.1000	0.1687	0.2180	-0.0493	0.1779	-0.0092
78	19.3500	0.1644	0.2147	-0.0504	0.1740	-0.0096
79	19.6000	0.1601	0.2115	-0.0513	0.1701	-0.0100
80	19.8500	0.1559	0.2083	-0.0524	0.1663	-0.0105
81	20.1000	0.1520	0.2051	-0.0531	0.1627	-0.0106
82	20.3500	0.1482	0.2020	-0.0538	0.1591	-0.0109
83	20.6000	0.1443	0.1989	-0.0546	0.1556	-0.0112
84	20.8500	0.1405	0.1959	-0.0554	0.1521	-0.0116

85	21.1000	0.1369	0.1929	-0.0561	0.1488	-0.0119
86	21.3500	0.1334	0.1900	-0.0566	0.1455	-0.0120
87	21.6000	0.1302	0.1871	-0.0569	0.1422	-0.0120
88	21.8500	0.1270	0.1843	-0.0573	0.1391	-0.0121
89	22.1000	0.1241	0.1815	-0.0575	0.1360	-0.0120
90	22.3500	0.1211	0.1788	-0.0577	0.1330	-0.0119
91	22.6000	0.1181	0.1761	-0.0579	0.1301	-0.0119
92	22.8500	0.1153	0.1734	-0.0581	0.1272	-0.0119
93	23.1000	0.1125	0.1708	-0.0583	0.1244	-0.0119
94	23.3500	0.1097	0.1682	-0.0585	0.1216	-0.0120
95	23.6000	0.1070	0.1657	-0.0587	0.1189	-0.0120
96	23.8500	0.1042	0.1632	-0.0590	0.1163	-0.0122
97	24.1000	0.1015	0.1607	-0.0592	0.1137	-0.0123
98	24.3500	0.0989	0.1583	-0.0594	0.1112	-0.0123
99	24.6000	0.0963	0.1559	-0.0596	0.1088	-0.0124
100	24.8500	0.0939	0.1535	-0.0596	0.1064	-0.0125
101	25.1000	0.0913	0.1512	-0.0599	0.1040	-0.0127
102	25.3500	0.0890	0.1489	-0.0599	0.1017	-0.0127
103	25.6000	0.0868	0.1467	-0.0598	0.0995	-0.0126
104	25.8500	0.0846	0.1445	-0.0598	0.0973	-0.0126
105	26.1000	0.0825	0.1423	-0.0598	0.0951	-0.0127
106	26.3500	0.0804	0.1401	-0.0597	0.0930	-0.0126
107	26.6000	0.0785	0.1380	-0.0595	0.0910	-0.0125
108	26.8500	0.0766	0.1359	-0.0594	0.0889	-0.0124
109	27.1000	0.0746	0.1339	-0.0592	0.0870	-0.0123
110	27.3500	0.0727	0.1318	-0.0591	0.0851	-0.0123
111	27.6000	0.0708	0.1299	-0.0591	0.0832	-0.0124

Apêndice F12 - Resultados dos Modelos 3 e 4 para o Teste 6 (T=68,4°C e UR=7,3%)

Tempo de secagem = 27,6 horas

Raio inicial = 0,01545 m

Coefficiente de difusão (Modelo 3) = $1,410 \times 10^{-6}$ m²/h

Coefficiente de difusão (Modelo 4) = $2,124 \times 10^{-6}$ m²/h

Coefficiente convectivo (Modelo 4) = 0,001798 m/h

N	t(h)	REAL	MODELO 3		MODELO 4	
			CALC.	RES.	CALC.	RES.
1	0.0000	1.0000	0.9833	0.0167	0.9959	0.0041
2	0.2500	0.9879	0.9140	0.0739	0.9590	0.0289
3	0.5000	0.9660	0.8775	0.0884	0.9299	0.0360
4	0.7500	0.9433	0.8492	0.0941	0.9046	0.0387
5	1.0000	0.9212	0.8250	0.0961	0.8817	0.0395
6	1.2500	0.9001	0.8036	0.0965	0.8606	0.0395
7	1.5000	0.8800	0.7841	0.0959	0.8408	0.0391
8	1.7500	0.8600	0.7661	0.0939	0.8222	0.0378
9	2.0000	0.8404	0.7492	0.0913	0.8045	0.0360
10	2.2500	0.8216	0.7332	0.0884	0.7875	0.0341
11	2.5000	0.8032	0.7181	0.0851	0.7712	0.0320
12	2.7500	0.7854	0.7036	0.0818	0.7555	0.0298
13	3.0000	0.7671	0.6897	0.0774	0.7404	0.0267
14	3.3000	0.7444	0.6764	0.0681	0.7257	0.0188
15	3.5500	0.7279	0.6635	0.0644	0.7114	0.0165
16	3.8167	0.7107	0.6510	0.0597	0.6975	0.0132
17	4.0667	0.6950	0.6388	0.0562	0.6839	0.0111
18	4.3167	0.6800	0.6270	0.0529	0.6707	0.0093
19	4.5667	0.6654	0.6156	0.0498	0.6578	0.0076
20	4.8167	0.6511	0.6044	0.0467	0.6451	0.0060
21	5.0667	0.6371	0.5934	0.0437	0.6328	0.0044
22	5.3167	0.6235	0.5827	0.0408	0.6206	0.0029
23	5.5667	0.6102	0.5723	0.0379	0.6087	0.0015
24	5.8167	0.5971	0.5620	0.0351	0.5970	0.0001
25	6.0667	0.5844	0.5520	0.0324	0.5855	-0.0011
26	6.3167	0.5718	0.5421	0.0297	0.5742	-0.0024
27	6.5667	0.5592	0.5324	0.0268	0.5630	-0.0038
28	6.8167	0.5466	0.5229	0.0237	0.5521	-0.0054
29	7.1000	0.5329	0.5135	0.0194	0.5413	-0.0084
30	7.3500	0.5208	0.5043	0.0165	0.5306	-0.0098
31	7.6000	0.5090	0.4952	0.0138	0.5202	-0.0112
32	7.8500	0.4977	0.4863	0.0114	0.5098	-0.0121
33	8.1000	0.4865	0.4775	0.0090	0.4997	-0.0131
34	8.3500	0.4759	0.4688	0.0070	0.4896	-0.0137
35	8.6000	0.4655	0.4603	0.0052	0.4797	-0.0142
36	8.8500	0.4552	0.4519	0.0034	0.4699	-0.0147

37	9.1000	0.4453	0.4436	0.0018	0.4602	-0.0149
38	9.3500	0.4357	0.4354	0.0004	0.4507	-0.0150
39	9.6000	0.4261	0.4273	-0.0012	0.4413	-0.0152
40	9.8500	0.4166	0.4193	-0.0027	0.4320	-0.0154
41	10.1000	0.4075	0.4114	-0.0039	0.4228	-0.0154
42	10.3500	0.3984	0.4036	-0.0053	0.4138	-0.0154
43	10.6000	0.3894	0.3959	-0.0065	0.4048	-0.0154
44	10.8500	0.3805	0.3883	-0.0078	0.3960	-0.0155
45	11.1000	0.3715	0.3808	-0.0093	0.3873	-0.0157
46	11.3500	0.3631	0.3734	-0.0104	0.3787	-0.0156
47	11.6000	0.3547	0.3661	-0.0114	0.3701	-0.0154
48	11.8500	0.3466	0.3589	-0.0122	0.3618	-0.0151
49	12.1000	0.3385	0.3517	-0.0132	0.3535	-0.0149
50	12.3500	0.3307	0.3447	-0.0139	0.3453	-0.0146
51	12.6000	0.3230	0.3377	-0.0147	0.3372	-0.0142
52	12.8500	0.3156	0.3308	-0.0152	0.3292	-0.0137
53	13.1000	0.3080	0.3240	-0.0160	0.3214	-0.0134
54	13.3500	0.3005	0.3173	-0.0167	0.3136	-0.0131
55	13.6000	0.2934	0.3106	-0.0173	0.3060	-0.0126
56	13.8500	0.2864	0.3041	-0.0176	0.2985	-0.0120
57	14.1000	0.2796	0.2976	-0.0180	0.2911	-0.0114
58	14.3500	0.2728	0.2912	-0.0184	0.2837	-0.0109
59	14.6000	0.2663	0.2849	-0.0186	0.2765	-0.0103
60	14.8500	0.2599	0.2786	-0.0188	0.2694	-0.0096
61	15.1000	0.2536	0.2725	-0.0189	0.2625	-0.0089
62	15.3500	0.2474	0.2664	-0.0190	0.2556	-0.0082
63	15.6000	0.2412	0.2604	-0.0192	0.2488	-0.0076
64	15.8500	0.2352	0.2545	-0.0193	0.2422	-0.0070
65	16.1000	0.2293	0.2487	-0.0194	0.2357	-0.0063
66	16.3500	0.2237	0.2429	-0.0193	0.2292	-0.0056
67	16.6000	0.2180	0.2373	-0.0193	0.2229	-0.0049
68	16.8500	0.2126	0.2317	-0.0191	0.2167	-0.0041
69	17.1000	0.2074	0.2262	-0.0188	0.2106	-0.0033
70	17.3500	0.2021	0.2208	-0.0187	0.2047	-0.0026
71	17.6000	0.1971	0.2154	-0.0183	0.1988	-0.0017
72	17.8500	0.1921	0.2102	-0.0181	0.1931	-0.0010
73	18.1000	0.1873	0.2050	-0.0177	0.1875	-0.0001
74	18.3500	0.1826	0.1999	-0.0173	0.1819	0.0006
75	18.6000	0.1778	0.1949	-0.0171	0.1765	0.0013
76	18.8500	0.1732	0.1900	-0.0168	0.1713	0.0020
77	19.1000	0.1687	0.1851	-0.0164	0.1661	0.0026
78	19.3500	0.1644	0.1804	-0.0160	0.1610	0.0033
79	19.6000	0.1601	0.1757	-0.0156	0.1561	0.0040
80	19.8500	0.1559	0.1711	-0.0152	0.1512	0.0046
81	20.1000	0.1520	0.1666	-0.0145	0.1465	0.0055
82	20.3500	0.1482	0.1622	-0.0140	0.1419	0.0063
83	20.6000	0.1443	0.1578	-0.0135	0.1374	0.0069
84	20.8500	0.1405	0.1535	-0.0131	0.1330	0.0075

85	21.1000	0.1369	0.1494	-0.0125	0.1287	0.0082
86	21.3500	0.1334	0.1453	-0.0118	0.1245	0.0089
87	21.6000	0.1302	0.1412	-0.0110	0.1205	0.0097
88	21.8500	0.1270	0.1373	-0.0103	0.1165	0.0105
89	22.1000	0.1241	0.1334	-0.0094	0.1126	0.0114
90	22.3500	0.1211	0.1297	-0.0086	0.1089	0.0122
91	22.6000	0.1181	0.1260	-0.0078	0.1052	0.0129
92	22.8500	0.1153	0.1224	-0.0070	0.1017	0.0137
93	23.1000	0.1125	0.1188	-0.0063	0.0982	0.0143
94	23.3500	0.1097	0.1154	-0.0057	0.0948	0.0148
95	23.6000	0.1070	0.1120	-0.0050	0.0916	0.0154
96	23.8500	0.1042	0.1087	-0.0045	0.0884	0.0158
97	24.1000	0.1015	0.1055	-0.0040	0.0853	0.0162
98	24.3500	0.0989	0.1023	-0.0034	0.0823	0.0166
99	24.6000	0.0963	0.0992	-0.0029	0.0794	0.0169
100	24.8500	0.0939	0.0962	-0.0023	0.0766	0.0173
101	25.1000	0.0913	0.0933	-0.0020	0.0739	0.0175
102	25.3500	0.0890	0.0904	-0.0014	0.0712	0.0178
103	25.6000	0.0868	0.0877	-0.0008	0.0687	0.0182
104	25.8500	0.0846	0.0850	-0.0003	0.0662	0.0185
105	26.1000	0.0825	0.0823	0.0002	0.0638	0.0187
106	26.3500	0.0804	0.0797	0.0007	0.0614	0.0190
107	26.6000	0.0785	0.0772	0.0013	0.0592	0.0193
108	26.8500	0.0766	0.0748	0.0018	0.0570	0.0195
109	27.1000	0.0746	0.0724	0.0022	0.0549	0.0197
110	27.3500	0.0727	0.0701	0.0026	0.0529	0.0198
111	27.6000	0.0708	0.0678	0.0029	0.0509	0.0199