

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS**

**ESTUDO DE UM SECADOR COM  
PROMOTORES ESTÁTICOS  
ANULARES DE MISTURA**

**Luiz Fabiano Gomes Godoi**

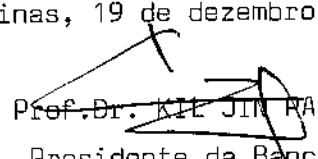
Engenheiro de alimentos

PARECER

Este exemplar corresponde à redação final da tese defendida por LUIZ FABIANO GOMES GODOI e aprovada pela Comissão Julgadora em 19.12.96.

**Orientador: Prof. Dr. Kil Jin Park**

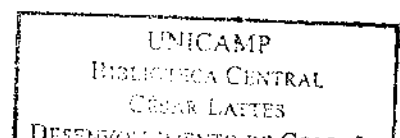
Campinas, 19 de dezembro de 1996.

  
Prof. Dr. KIL JIN PARK

Presidente da Banca

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas para obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Alimentos.

**Campinas-SP  
dezembro de 1996**



FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DA F.E.A. - UNICAMP

G547e

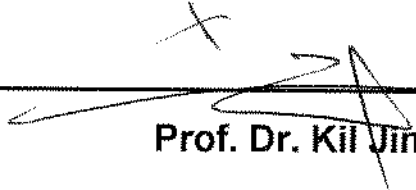
Godoi, Luiz Fabiano Gomes

Estudo de um secador com promotores estáticos anulares de  
mistura / Luiz Fabiano Gomes Godoi. -- Campinas, SP: [s.n.], 1996.

Orientador: Kil Jin Park  
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas.  
Campinas.Faculdade de Engenharia de Alimentos.

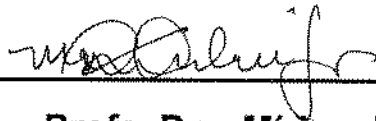
I.Secagem. 2. Máquinas agrícolas. 3.Eficiência - consumo de  
energia. I.Park, Kil Jin. II.Universidade Estadual de Campinas.  
Faculdade de Engenharia de Alimentos. III.Título.

# BANCA EXAMINADORA



---

**Prof. Dr. Kil Jin Park**  
(Orientador)



---

**Prof. Dra. Miriam D. Hubinger**  
(Membro)



---

**Prof. Dr. Satoshi Tobinaga**  
(Membro)

---

**Prof. Dr. João D. Biagi**  
(Membro)

“Torne o teu ouvido para a sabedoria e  
aplique o teu coração ao entendimento.”  
Pv. 2:2

Aos meus pais, pelo amor, dedicação e constante incentivo ao estudo.

Aos meus irmãos Rodrigo e Victor, pela amizade.

À minha querida Érika, pelo amor e companheirismo.

À Deus, por meio de quem tudo se tornou realidade.

## AGRADECIMENTOS

Ao professor Dr. Kil Jin Park, pela orientação clara e objetiva, apoio, incentivo durante o curso e o trabalho de mestrado. Pela amizade estabelecida ao longo dos últimos 3 anos.

Ao professor Paulo Leal do DCR/FEAGRI-UNICAMP, pelo empréstimo do DataLogger.

Aos engenheiros e amigos Luís Felipe Toro Alonso e Wladimir Antônio Corrêa Jr, pela imensa ajuda na montagem e testes do equipamento.

Aos amigos Fernando Pedro Reis Brod, João Eduardo Azevedo, Fábio Keniti Natsumeda, Henrique Martha Oliveira, Daniel Sandrini e Leandro Magrini pelo importante apoio durante as corridas experimentais.

Ao motorista da FEAGRI-UNICAMP Anésio, pela paciência durante a compra do lote de sementes de soja em Matão-SP.

Aos funcionários da FEAGRI-UNICAMP Dagoberto Favoretto Jr., Maria Rosália da Silva Favoretto, Francisco Ferreira de Oliveira e Rosa Helena Aguiar, pelo auxílio prestado na área de instrumentação.

À família Colobriali, pela ajuda na separação e pesagem dos traçadores e na umidificação da soja naqueles intermináveis sábados e domingos.

Ao Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento-CNPq, pela concessão da bolsa de mestrado.

À minha Érika, pela imensa ajuda em todas as coletas de dados experimentais.

# ÍNDICE

RESUMO	i
ABSTRACT	ii
LISTA DE TABELAS	iii
LISTA DE FIGURAS	v
NOMENCLATURA	ix
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 Tipos de secadores	3
2.1.1 Secadores de camada estática (leito fixo)	3
2.1.2 Secadores contínuos	4
2.2 Propriedades físicas do sólido	6
2.3 Fluidodinâmica	6
2.3.1 Perda de carga	7
2.3.2 Estudo dos escoamentos	9
2.3.3 Tempo de residência	9
2.4 Transferência de calor	11
2.4.1 Medição das temperaturas	11
2.4.2 A condução	12
2.4.3 A convecção	13
2.5 Secagem	15
2.5.1 As curvas de secagem	16
2.5.2 Cálculo das cinéticas de secagem	20
2.5.2.1 Período de secagem a taxa constante	20
2.5.2.2 Período de secagem a taxa decrescente	21
2.5.2.2.1 Abordagem teórica	21
2.5.2.2.2 Abordagem experimental	26
2.5.2.3 Curvas de secagem recentes encontradas na literatura	27
2.6 Comparação da eficiência energética	33
3. MATERIAL E MÉTODOS	34
3.1 Equipamento	34

3.2 Outros equipamentos	36
3.3 Matéria-prima	37
3.4 Métodos	37
3.4.1 Propriedades físicas da soja	37
3.4.2 Estudo hidrodinâmico	39
3.4.2.1 Perda de carga	39
3.4.2.2 Estudo dos escoamentos	41
3.4.2.3 Tempo de residência	42
3.4.3 Estudo de transferência de calor	43
3.4.4 Secagem	44
3.5 Comparação da eficiência energética	48
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
4.1 Determinação das propriedades físicas	49
4.2 Estudo hidrodinâmico	54
4.2.1 Perda de carga	54
4.2.2 Caracterização dos escoamentos	57
4.2.3 Tempo de residência	58
4.3 Transferência de calor	61
4.4 Transferência de massa	70
4.5 Comparação da eficiência energética	91
5. CONCLUSÕES	95
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	97
ANEXO 1	105
ANEXO 2	111
ANEXO 3	112
ANEXO 4	114
ANEXO 5	163
ANEXO 6	176
ANEXO 7	189



## RESUMO

Foi realizada a construção e o estudo de um Secador Contínuo Vertical munido de Promotores Anulares Estáticos de Mistura, objeto da Patente Industrial concedida sob o número 8700583. O equipamento consistiu em uma coluna de secagem cilíndrica construída em acrílico transparente, com um ventilador para insuflar o ar ambiente, que era posteriormente aquecido através de um conjunto de resistências elétricas. A vazão do ar foi regulada pela abertura da área de admissão, na sucção do ventilador. A temperatura do ar, por sua vez, foi regulada através do acionamento individual de resistências elétricas. O material a ser seco, sementes de soja, proveniente do silo alimentador no topo do equipamento, foi feito escoar em contra corrente com o ar através da coluna onde ocorre a secagem. O material que já tivesse atingido a umidade desejada era descarregado e o que não tivesse atingido era reciclado novamente para o interior do equipamento através de um sistema de transporte pneumático. No interior da tubulação foi instalado um conjunto de placas metálicas retorcidas com sentidos alternados para promover a mistura de sólidos e aumentar a área de contato entre o material a ser seco e o ar de secagem proveniente do ventilador, e assim aumentar a homogeneidade de secagem e a eficiência de troca de massa. As placas eram perfuradas para favorecer o escoamento do ar de secagem. Os promotores desencadeiam uma mistura de sólidos pela sua reversão sucessiva. O estudo compreendeu a avaliação do comportamento hidrodinâmico, da transferência de calor e da transferência de massa, e uma comparação da eficiência energética com um secador existente no mercado. Os parâmetros de operação do secador foram: temperatura do ar de secagem, 50, 60 e 70°C; vazão do ar, 0,74 e 1,06 m<sup>3</sup>/min; vazão de grãos, 160 e 210 g/s; e regime de escoamento do material, escoamento denso e escoamento em queda livre. Obteve-se uma economia média de 98% de energia utilizada em relação ao secador da Kepler Weber avaliado.

Palavras-chave: Secagem, máquinas agrícolas, eficiência - consumo energético.

## ABSTRACT

A Continuous Vertical Annular Static Mixer Dryer was constructed and studied (Industrial Patent 8700583). The equipment consisted on a cylindrical drying column constructed in transparent acrylics, and a fan that blowed the ambient air, which was heated by a set of electrical heaters. The air flow rate was controlled by changing the admission area of the fan. The number of electrical heaters used determined the temperature. The material to be dried, soybean seeds, and drying air were admitted in counterflow through the column, and the material that was dried to the desired humidity recycled by a pneumatic transport system. A set of steel plates with alternated twisted paths where installed in the interior of the drying column in order to promote the solids mixture and to increase the transfer area between the material to be dried and air, thus enhancing the drying homogeneity and the efficiency of the mass transfer. These mixers were perforated in order to ease the drying air flow, and they also caused a solids mixture by its successive reversion. This study included the fluid dynamic behavior, the heat transfer and the mass transfer, and a comparison of the energetic efficiency between the Annular Static Mixer Dryer and a commercially available dryer. The dryer operational parameters were: drying air temperature, 50, 60 and 70°C; drying air flow rate, 0,74 and 1,06 m<sup>3</sup>/min; material flow rate, 160 and 210 g/s; and two material flow regimes, dense and free-falling flow. It was found an energy saving of 98% compared with the Kepler Weber dryer evaluated.

Key-words: Drying, agricultural machines, efficiency - energy consumption

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 : Características das corridas experimentais	45
Tabela 2 : Densidade real	48
Tabela 3 : Densidade aparente	48
Tabela 4 Distribuição dos grãos na peneira	48
Tabela 5 : Cálculo da esfericidade do grão retido na PENEIRA 13	49
Tabela 6 : Cálculo da esfericidade do grão retido na PENEIRA 14	50
Tabela 7 : Cálculo da esfericidade do grão retido na PENEIRA 15	51
Tabela 8 : Cálculo da esfericidade do grão retido na PENEIRA 16	52
Tabela 9 : Resumo das propriedades físicas	53
Tabela 10 : Perda de carga com o secador vazio	53
Tabela 11 : Perda de carga com soja em leito estático	54
Tabela 12 : Perda de carga com descarga de soja	55
Tabela 13 : Adimensionais para escoamento denso (Re para partículas)	62
Tabela 14 : Adimensionais para escoamento em queda livre (Re para partículas)	63
Tabela 15 : Adimensionais para escoamento denso (Re para fluido)	64
Tabela 16 : Adimensionais para escoamento em queda livre (Re para fluido)	65
Tabela 17 : Adimensionais para escoamento denso (Re com vel.partícula + vel.fluido)	66
Tabela 18 : Adimensionais para escoamento em queda livre (Re com vel.partícula + vel.fluido)	67
Tabela 19 : Parâmetro k e difusividade efetiva calculados com 3 termos da série de Fourier	83
Tabela 20 : Parâmetro k e difusividade efetiva calculados com 5 termos da série de Fourier	84

Tabela 21 : Parâmetro k e difusividade efetiva calculados com 10 termos da série de Fourier	85
Tabela 22 : Parâmetro k e difusividade efetiva calculados com 15 termos da série de Fourier	86
Tabela 23 : Parâmetro k e difusividade efetiva calculados com 20 termos da série de Fourier	87
Tabela 24 : Energia de ativação para cada regime de escoamento, velocidade do ar e vazão de grãos.	100
Tabela 25 : Constantes s e c da equação de Page	
Tabela 26 : Energia consumida pelo secador com promotores estáticos de mistura	115
Tabela 27 : Energia consumida pelo secador KW 110R	116
Tabela 28 : Gasto energético comparativo entre os secadores	116
Tabela 29 : Comparação do custo operacional entre os secadores para vários energéticos	117

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Curvas de secagem típicas.	17
Figura 2: Detalhes do secador com promotores estáticos anulares de mistura	34
Figura 3: Detalhe do Silo armazenador	35
Figura 4: Diagrama de Regimes de Escoamento	42
Figura 5: Distribuição dos termopares ao longo do secador	43
Figura 6: Porosidade do leito para cada regime de escoamento	56
Figura 7: Distribuição do tempo de residência para regime de escoamento denso	58
Figura 8: Distribuição do tempo de residência para regime de escoamento em queda livre	58
Figura 9: Tempo de residência médio em função da vazão mássica de grãos	59
Figura 10 : Perfil de temperatura longitudinal no secador	60
Figura 11 : Coeficiente de transferência de calor global médio em função da temperatura	61
Figura 12 : Log de Nusselt x Log de Reynolds para regime de escoamento denso	68
Figura 13 : Log de Nusselt x Log de Reynolds para regime de escoamento em queda livre	68
Figura 14 : Curvas de secagem obtidas para escoamento denso, a 60°C, com velocidade do ar de 0,7 m/s e vazão de grãos de 160 g/s	70
Figura 15 : Curvas de secagem obtidas para escoamento denso, a 60°C, com velocidade do ar de 0,7 m/s e vazão de grãos de 210 g/s	70
Figura 16 : Curvas de secagem obtidas para escoamento denso, a 60°C, com velocidade do ar de 1 m/s e vazão de grãos de 160 g/s	71

Figura 27 : Curvas de secagem obtidas para escoamento em queda livre, a 60°C, com velocidade do ar de 0,7 m/s e vazão de grãos de 160 g/s	76
Figura 28 : Curvas de secagem obtidas para escoamento em queda livre, a 60°C, com velocidade do ar de 1 m/s e vazão de grãos de 160 g/s	77
Figura 29 : Curvas de secagem obtidas para escoamento em queda livre, a 60°C, com velocidade do ar de 1 m/s e vazão de grãos de 210 g/s	77
Figura 30 : Curvas de secagem obtidas para escoamento em queda livre, a 70°C, com velocidade do ar de 1 m/s e vazão de grãos de 210 g/s	78
Figura 31 : Curvas de secagem obtidas para escoamento em queda livre, a 70°C, com velocidade do ar de 1 m/s e vazão de grãos de 160 g/s	78
Figura 32 : Curvas de secagem obtidas para escoamento em queda livre, a 70°C, com velocidade do ar de 0,7 m/s e vazão de grãos de 160 g/s	79
Figura 33 : Curvas de secagem obtidas para escoamento em queda livre, a 70°C, com velocidade do ar de 0,7 m/s e vazão de grãos de 210 g/s	79
Figura 34 : Curvas de secagem obtidas para escoamento denso, a 70°C, com velocidade do ar de 0,7 m/s e vazão de grãos de 160 g/s	80
Figura 35 : Curvas de secagem obtidas para escoamento denso, a 70°C, com velocidade do ar de 0,7 m/s e vazão de grãos de 210 g/s	80

Figura 36 : Curvas de secagem obtidas para escoamento denso, a 70°C, com velocidade do ar de 1 m/s e vazão de grãos de 160 g/s	81
Figura 37 : Curvas de secagem obtidas para escoamento denso, a 70°C, com velocidade do ar de 1 m/s e vazão de grãos de 210 g/s	81

## NOMENCLATURA

- a - constante da equação 1,  $m^{-b}$
- A - área de transferência,  $m^2$
- $A_m$  - superfície molhada,  $m^2$
- $A_p$  - constante da equação 30, igual a 1, adimensional
- $A_s$  - superfície específica do produto por unidade de massa em matéria seca,  $m^2/kg$
- b - constante da equação 1, adimensional
- B - constante da equação 21, adimensional
- c - constante das equações 21 e 30, adimensional
- C - concentração de água,  $kgmol/m^3$
- $C_p$  - capacidade calorífica,  $J/kgK$
- D - diâmetro de dutos circulares (secador), m
- $D_0$  - diâmetro da esfera, m
- $D_1$  - diâmetro externo do promotor estático de mistura, m
- $D_2$  - diâmetro interno do cilindro de acrílico, m
- $D_e$  - diâmetro equivalente, m
- $D_{ef}$  - difusividade efetiva,  $m^2/s$
- $D_f$  - coeficiente de difusão,  $m^2/s$
- d - constante da equação 21, adimensional
- $d_p$  - diâmetro médio do grão, m
- e - espessura da aleta de mistura, m
- $E(t)$  - idade de saída, adimensional
- $E(\phi)$  - definido pela equação  $E(\phi) = E(t) tm$ , s
- $E_a$  - energia de ativação,  $KJ/mol$
- $f_f$  - fator de atrito de Fanning, adimensional
- $f_d$  - fator de atrito de Darcy, adimensional
- $F_k$  - força adicional associada com o comportamento cinético do fluido, N
- $F(t)$  - função distribuição do tempo de residência, adimensional
- H - capacidade mássica do secador, kg
- $H_v$  - calor latente de vaporização,  $J/kg$



$h_0$  - coeficiente de transferência de calor convectivo,  $W/m^2K$   
 $h_e$  - coeficiente de transferência de calor convectivo para esferas,  $W/m^2K$   
 $k$  - condutividade térmica,  $W/mK$   
 $k_f$  - condutividade térmica do fluido,  $W/mK$   
 $k_{mp}$  - coeficiente de transferência de massa,  $kg/Pam^2s$   
 $Kq$  - coeficiente de transferência de calor, equação 20,  $W/m^2K$   
 $Kv$  - energia cinética característica por unidade de volume,  $kg/ms^2$   
 $L$  - comprimento do secador, m  
 $La$  - comprimento do promotor de mistura, m.  
 $Ls$  - comprimento real do promotor de mistura, m.  
 $m$  - vazão mássica do sólido,  $kg/h$   
 $M$  - massa de traçador injetada, kg  
 $n$  - número de termos na somatória da série de Fourier, adimensional  
 $N$  - fluxo de massa,  $m^2s$   
 $Ns$  - fluxo de massa,  $kg$  água evaporada/ $m^2s$   
 $Nu$  - número de Nusselt, adimensional,  $Nu = \frac{hDe}{k}$   
 $P$  - pressão de vapor de saturação à temperatura de bulbo úmido do ar, Pa  
 $Pa$  - pressão de vapor real do ar, Pa  
 $P_0$  - pressão (estática) medida no ponto 0, Pa  
 $P_L$  - pressão (estática) medida no ponto L, Pa  
 $Pr$  - número de Prandtl, adimensional  
 $q$  - fluxo térmico por convecção, W  
 $Q$  - fluxo de calor por unidade de área,  $W/m^2$   
 $r$  - raio de dutos circulares (secador), m  
 $R$  - conteúdo de umidade, adimensional  
 $R$  - constante universal dos gases,  $J/molK$   
 $Re$  - número de Reynolds, adimensional,  $Re = \frac{\rho_f v De}{\mu_f}$   
 $r_w/e$  - rugosidade, adimensional  
 $s$  - constante da equação 30,  $s^{-c}$   
 $T$  - temperatura, K

$t$  - tempo, s  
 $t_m$  - tempo de residência médio das partículas, s  
 $T_s$  - temperatura da superfície, K  
 $T_\infty$  - temperatura do meio, K  
 $v$  - velocidade, m/s  
 $V$  - volume deslocado, m<sup>3</sup>  
 $V_a$  - velocidade do ar, m/s  
 $V_s$  - velocidade real, m/s  
 $x(t)$  - fração mássica do traçador na corrente de saída, adimensional  
 $X$  - umidade, kg água/kg matéria seca  
 $X_{eq}$  - umidade de equilíbrio, kg água/kg matéria seca  
 $X_0$  - umidade inicial, kg água/kg matéria seca  
  
 $\bar{X}$  - conteúdo médio de umidade, kg água/kg de matéria seca  
 $\alpha$  - difusividade térmica, m<sup>2</sup>/s  
 $\Delta P$  - perda de carga, Pa  
 $\varepsilon$  - porosidade do leito, adimensional  
 $\phi$  - definido pela equação  $\phi = t/t_m$ , adimensional  
 $\varphi$  - esfericidade do grão, adimensional  
 $\lambda$  - razão de torsão, adimensional.  
 $\mu_f$  - viscosidade dinâmica do fluido, Pa/s  
 $\rho$  - massa específica, kg/m<sup>3</sup>  
 $\rho_r$  - densidade real, kg/m<sup>3</sup>  
 $\rho_a$  - densidade aparente, kg/m<sup>3</sup>  
 $\rho_f$  - densidade do fluido, kg/m<sup>3</sup>

## 1. INTRODUÇÃO

A secagem de produtos sólidos com ar quente é uma operação unitária muito utilizada nas indústrias de alimentos e agrícolas, uma vez que a redução do teor de água aumenta o seu tempo de conservação pela redução do crescimento microbiano e pela inibição de reações bioquímicas, permitindo, por exemplo, que órgãos governamentais formem estoques reguladores, além da economia nos custos de transporte e manuseio em geral, diminuindo os gastos energéticos e de mão de obra na etapa de distribuição.

O processo de secagem, conjugado a sistemas adequados de armazenagem, possibilita uma oferta mais homogênea dos produtos durante o ano todo, atuando a favor da estabilização dos preços.

Embora a secagem seja um dos métodos mais antigos para a preservação dos alimentos, a utilização da secagem artificial dos alimentos começou a ser empregada apenas nos últimos dois séculos. Entende-se por secagem artificial, os métodos que empregam energia diferente da obtida pela exposição direta ao Sol.

Para a escolha de um método de secagem é preciso levar em conta a natureza do produto a ser seco e seu estado: sólido, pastoso, em calda ou líquido. Assim os alimentos, em geral, são desfavoravelmente influenciados por uma temperatura elevada ou pela presença de oxigênio. Produtos como a madeira, por exemplo, apresentam modificações indesejáveis diante de um processo de secagem demasiadamente rápido, tais como fissuras e encurvamento.

Portanto, do ponto de vista econômico, um produto só deve ser tratado em função das características que dele são exigidas. Para satisfazer a todas as exigências, muitos métodos e aparatos de secagem foram desenvolvidos para secar produtos agrícolas e alimentícios artificialmente. No entanto, a secagem por ar, tem

vido a mais largamente utilizada, e particularmente a secagem que emprega o ar aquecido tem demonstrado ser o método mais econômico.

A secagem artificial é um processo altamente dispendioso em energia térmica para o aquecimento e mecânica para movimentação do ar. Da energia requerida no processamento de produtos agropecuários, cerca de 89,5% de toda a energia gasta é utilizada pelo processo de secagem (MEYER et alii, 1982), que depende fortemente das condições de operação e da umidade que se pretende retirar do produto.

Sendo assim, o presente trabalho se propõe a construir e testar um novo modelo de secador em coluna munido de promotores estáticos anulares de mistura, e compará-lo com outros que já existem no mercado para avaliar sua viabilidade energética.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

A secagem artificial de grãos no Brasil é uma operação praticada principalmente pelas cooperativas agrícolas e pelas indústrias de processamento. Isto se dá porque os secadores exigem um investimento muito alto. Na tentativa de otimizar o processo de secagem, vários tipos de secadores são empregados para materiais biológicos. Os utilizados para grãos são de dois tipos básicos: secadores de camada estática (camada fixa) e secadores contínuos.

### **2.1 TIPOS DE SECADORES**

#### **2.1.1 SECADORES DE CAMADA ESTÁTICA ( LEITO FIXO )**

Os secadores de leito estático são equipamentos onde certa quantidade de grãos é colocada num silo ou em secadores de coluna. BROOKER, BAKKER-ARKEMA e HALL (1974) para o sistema de silo cheio apontam como vantagens: a colheita que pode ser feita a qualquer ritmo; a operação relativamente simples; o manuseio mínimo dos grãos ; a alta eficiência energética; não ocorrência de secagem excessiva e o baixo índice de quebra de grãos com baixas temperaturas. Descrevem como desvantagens a impossibilidade do uso de grãos com alto teor de umidade e um período longo de operação.

Uma variação no processo deste tipo de secador consiste em efetuar a secagem por carga, onde certa quantidade de grãos já secos é transferida para o silo armazenador.

## 2.1.2 SECADORES CONTÍNUOS

Os secadores de fluxo contínuo se subdividem em vários grupos de acordo com o modo de escoamento em: secadores de fluxo cocorrente, secadores de fluxo contracorrente, secadores de fluxo cruzado, secadores em cascata e secadores com promotores de mistura.

Em secadores de fluxo cocorrente, ar e grãos fluem na mesma direção ao longo do secador. Segundo WALKER e BAKKER-ARKEMA (1978), os secadores de fluxo cocorrente parecem ter as melhores condições para realizar a secagem com altas temperaturas, sem causar danos aos grãos.

BAKKER-ARKEMA, FONTANA e SCHISLER (1983) realizaram testes simulados e experimentais de secagem de arroz, em um secador de fluxo cocorrente de 2 e 3 estágios, com temperatura de secagem de 82°C a 176°C, e obtiveram a remoção de 6 % de umidade em cada passagem. A energia consumida foi de 3,5 a 3,6 MJ/kg vapor e os grãos passaram por um período de repouso no próprio secador a uma temperatura entre 40,5°C e 43,3°C.

Em secadores de fluxo contracorrente, ar e grãos fluem em sentido contrário ao longo do secador. Segundo NELLIST (1982), em um fluxo contracorrente, operando em equilíbrio, os grãos deixariam o secador à mesma temperatura do ar de entrada. A sua aplicação é limitada pela sensibilidade dos grãos a altas temperaturas. Assim, na indústria, o mesmo é utilizado como resfriador ao invés de secador.

Os secadores de fluxo cruzado caracterizam-se pela passagem do ar perpendicularmente a uma camada de grãos, os quais se movem entre chapas perfuradas. Os secadores de fluxo cruzado são mais populares pela simplicidade de construção e baixo custo (STEVENS e THOMPSON, 1976). Sua maior desvantagem é a falta de uniformidade no processo de secagem.

MOREY e CLOUD (1973) efetuaram simulações de secagem neste tipo de secador utilizando uma temperatura de 115,5°C, e um fluxo de ar de 15,2 m<sup>3</sup>/min/m<sup>2</sup>. Os mesmos recomendam o uso de leitos de 20 a 40 cm de espessura, dependendo da posição das colunas do secador.

Um secador em cascata é constituído de uma série de calhas invertidas em forma de V, dispostas em linhas alternadas dentro do corpo do secador. Os grãos movem-se sobre as calhas invertidas para baixo sob a ação da gravidade. O ar de secagem entra em uma linha de calhas e sai em outras imediatamente adjacentes. Apesar de ser o secador do tipo contínuo mais utilizado no Brasil, a sua principal desvantagem é o custo inicial alto.

A KEPLER WEBER INDÚSTRIA S.A. apresenta 5 modelos de secadores em cascata com capacidades entre 10 e 100 toneladas de grãos (soja) por hora, e com consumos energéticos estimados variando de 185 a 1850 kg de lenha/h.

PARK (1979) trabalhando com um trocador de calor munido de promotores estacionários anulares de turbulência, obteve aumento na taxa de transferência de calor para o escoamento laminar de fluidos newtoniano e não-newtoniano.

Utilizando a idéia do trocador de calor, PARK, JARDINE e SUNDFELD (1983), construíram um secador com aletas internas retas para avaliar possíveis correlações de transferência de calor e de massa, obtendo uma equação de secagem do tipo:

$$\frac{X - X_{eq}}{X_0 - X_{eq}} = a(L^b) \quad (1)$$

Os pesquisadores verificaram um rápido aquecimento dos grãos em curto tempo de residência.

O secador munido de promotores estáticos anulares de mistura, objeto do presente trabalho, é a patente industrial PI 8700583 (1987).

## **2.2 PROPRIEDADES FÍSICAS DO SÓLIDO**

O estudo das propriedades físicas dos materiais biológicos recebeu uma importante contribuição com o trabalho de MOHSENIN (1965), onde foram sintetizadas as características importantes que deviam ser determinadas. Ressaltou a importância do conhecimento dessas características no dimensionamento e desenho dos equipamentos transportadores, de limpeza e separação, no emprego de técnicas utilizadas no armazenamento e na construção de silos e outros dispositivos de armazenagem.

As determinações das propriedades de diâmetro médio das partículas, esfericidade, densidade real e densidade aparente estão descritas em MOHSENIN (1986).

## **2.3 FLUIDODINÂMICA**

Um fluido escoando através de um duto ou sobre uma superfície, tem o tipo de escoamento variável de acordo com a sua velocidade, suas propriedades físicas e com a geometria da superfície (COULSON e RICHARDSON, 1977).

Quando um fluido em escoamento uniforme numa seção transversal entra num duto, as camadas de fluido adjacentes às paredes são desaceleradas e uma camada limite se forma. A camada limite cresce em espessura conforme o fluido passa pelo duto. A uma certa distância da entrada do duto a camada limite alcança uma espessura igual a do raio do duto e se junta no eixo longitudinal, formando o que se chama de escoamento completamente desenvolvido (COULSON e RICHARDSON, 1977). Durante o escoamento, o fluido apresenta uma perda de energia, comumente referida como perda de carga.



### 2.3.1 PERDA DE CARGA

A força  $F$  exercida por um fluido sobre as superfícies sólidas pode ser dividida em duas partes:  $F_s$ , que é a força que seria exercida pelo fluido mesmo que estivesse estacionário, e  $F_k$ , que é a força adicional associada com o comportamento cinético do fluido relativamente à superfície. Define-se fator de atrito de Fanning,  $f_f$ , de tal forma que:

$$F_k = A_m K_v f_f \quad (2)$$

onde  $A_m$  é uma área característica da superfície sólida e  $K_v = \frac{\rho v^2}{2}$ , a energia cinética característica do fluido.

Para escoamento uniforme no interior de um duto circular de raio  $r$  e comprimento  $L$ , a força total,  $F_k$ , sobre o duto é:

$$F_k = (2\pi r L) \left( \frac{1}{2} \rho v^2 \right) f_f \quad (3)$$

Entretanto, como as quantidades geralmente medidas são a perda de carga e a diferença de altura, o balanço de força no fluido de 0 à  $L$  na direção do escoamento resulta, para um escoamento completamente desenvolvido e uniforme, na expressão:

$$F_k = (P_0 - P_L) \pi r^2 \quad (4)$$

Assim, à partir das duas equações acima obtém-se o fator de atrito de Fanning:

$$f_f = \frac{1}{4} \left( \frac{D}{L} \right) \left( \frac{P_0 - P_L}{\frac{1}{2} \rho v^2} \right) \quad (5)$$

Existem várias outras definições de fatores de atrito, dos quais o mais comum é o fator de atrito de Darcy, que vale 4 vezes o fator de Fanning (BIRD, STEWART, LIGHTFOOT, 1960).

Os fatores de atrito para escoamento turbulento em tubos lisos foram estudados por vários autores. Blasius sugeriu uma expressão que predizia acuradamente o fator de atrito para números de Reynolds entre 3.000 e 100.000. Nikuradse utilizando dados obtidos em seus próprios experimentos e experimentos conduzidos por outros pesquisadores como Stanton, obteve a seguinte relação entre o fator de atrito e o número de Reynolds, cobrindo toda a faixa de números de Reynolds investigada:

$$\frac{1}{\sqrt{f_f}} = 4.0 \log(\text{Re}\sqrt{f_f}) - 0.40 \quad (6)$$

Outros autores investigaram também os fatores de atrito para escoamento turbulento em tubos rugosos e para a faixa de transição, Colebrook propôs a seguinte equação empírica:

$$\frac{1}{\sqrt{f_f}} = 4 \log \frac{r_w}{e} + 3.48 - 4 \log \left( 1 + 9.35 \frac{\frac{r_w}{e}}{\text{Re}\sqrt{f_f}} \right) \quad (7)$$

Cartas de fatores de atrito foram apresentadas por Moody e Rouse para a determinação de fatores de atrito tanto para tubos lisos como rugosos (KNUDSEN e KATZ, 1958).

### **2.3.2 ESTUDO DOS ESCOAMENTOS**

FAN et alii (1970, 1972, 1973, 1976) estudaram a mistura axial de vários sistemas de partículas em tubos de mistura contendo misturadores estáticos do tipo Kenics. Eles indicaram homogeneidade no tubo de mistura após apenas alguns passes das partículas. A mistura axial nesta operação em batelada foi devida, principalmente, ao perfil de velocidades axiais desiguais do escoamento das partículas causado pelos elementos de mistura.

O comportamento do escoamento e as características de mistura em escoamento gravitacional de partículas sólidas, em regime permanente, através de tubos contendo elementos de mistura estáticos, foi estudada por GYENIS, ÁRVA e NÉMETH (1994). Estes pesquisadores determinaram que dependendo das condições de alimentação e descarga de sólidos, três regimes de escoamento típicos podem ocorrer. Os regimes de escoamento obtidos foram: caso a - se a vazão mássica de descarga é menor que a máxima passagem possível pelos elementos de mistura, um escoamento denso de partículas ocorre no tubo de mistura; caso b - se a vazão de alimentação é menor que a máxima passagem possível pelos elementos de mistura, o escoamento é caracterizado por uma alta velocidade axial e uma baixa fração volumétrica de sólidos; caso c - se a vazão de alimentação é ilimitada e a descarga é livre, tem-se uma fração volumétrica de sólidos média entre os casos a e b, e o escoamento é determinado pelas características do tubo de mistura.

### **2.3.3 TEMPO DE RESIDÊNCIA**

No projeto de secadores, um dado importante é a distribuição dos tempos de residência das partículas sólidas que estão escoando. Para se determinar a distribuição do tempo de residência existe um certo número de técnicas experimentais que podem ser classificadas como técnicas de estímulo e resposta. Em todas essas experiências, perturba-se o sistema e verifica-se como ele responde ao estímulo.

O estímulo é uma entrada de traçador com as partículas que entram no secador, enquanto a resposta é o registro de tempo do traçador que deixa o secador. Vários tipos de sinal de entrada podem ser utilizados como por exemplo: o casual, o periódico, em degrau, ou pulsante; sendo os mais comumente utilizados os dois últimos (LEVENSPIEL, 1974).

A técnica da injeção de um pulso de partículas consiste em introduzir, na corrente de entrada uma certa quantidade de traçador ( $M$ ), em um tempo  $t=0$ , e coletar a fração mássica do mesmo na corrente de saída em função do tempo  $x(t)$ . O tempo de injeção do pulso deve ser desprezível em comparação com o tempo de residência médio.

A variação nos tempos de residência do material no equipamento é melhor descrita pelas funções distribuição do tempo de residência introduzidas por DANCKWERTZ (1953),  $F(t)$  e  $E(t)$ , que se relacionam conforme mostrado a seguir:

$$E(t) = \frac{dF(t)}{dt} \quad (8)$$

Após a determinação da distribuição dos tempos de residência, o tempo de residência médio ( $t_m$ ) pode ser calculado, de acordo com VANECEK (1966), com a equação abaixo:

$$t_m = \int_0^{\infty} E(t) t dt \quad (9)$$

Outras equações para o cálculo do tempo de residência médio ( $t_m$ ) a partir da função distribuição de tempo de residência podem também ser utilizadas, tais como as mostradas por HUBINGER (1994):

$$E(t) = \frac{m}{M} \cdot (t) \quad (10)$$

Definindo  $E(\phi) = E(t) t_m$ , onde  $\phi = t / t_m$ , pode-se calcular o tempo de residência médio como:

$$t_m = \frac{H}{m} \quad (11)$$

## 2.4 TRANSFERÊNCIA DE CALOR

A transferência de calor pode ocorrer por três mecanismos diferentes: a condução, a convecção e a radiação. Na secagem de grãos em um secador munido de promotores estáticos anulares de mistura os mecanismos de transferência de calor predominantes são a condução nos sólidos e a convecção na interface sólido-fluido. O mecanismo da convecção está relacionado à condução através da fina película de fluido adjacente à superfície de transferência de calor dos sólidos (HOLMAN, 1972).

Encontra-se na literatura uma grande variação da quantidade de dados e de modelos existentes para a transferência de calor na interface sólido-fluido em meios porosos, como é o caso dos grãos, entre os diferentes tipos de leito. Assim há um extenso tratamento para leitos fixos, fluidizados e partícula única na literatura, enquanto que para leitos deslizantes, leitos de jorro e transporte pneumático há comparativamente uma pequena quantidade de trabalhos (SARTORI, 1986).

### 2.4.1 MEDIÇÃO DAS TEMPERATURAS

As técnicas empregadas para a medição da temperatura nos estudos de transferência de calor em meios porosos são muito variadas e dependem muito do tipo de modelo e do do tipo de leito com que se trabalha.

Assim, para o modelo de uma fase, que não faz distinção entre as temperaturas do fluido e do sólido, a medida da temperatura pode ser obtida diretamente com a utilização de um termoelemento no leito. Já para o modelo de duas fases, onde se faz necessária a medida de temperatura de cada fase, diversas técnicas são utilizadas dependendo do tipo de leito estudado.

SARTORI (1986) faz um resumo das técnicas de medida de temperatura em diferentes leitos para o modelo de duas fases. Dentre as técnicas listadas, as mais utilizadas para a determinação da temperatura da fase fluida são: termopar revestido com tela, termopar de sucção e termopar simples; e para a determinação da temperatura da fase sólida são: termopar simples, calorimetria, termopar embutido no sólido, transmissor de radiação e equação de balanço térmico.

Com isso nota-se que não há uma conformidade de medida de temperatura na literatura, e cada autor utiliza a técnica que julga a mais conveniente para o seu trabalho específico.

## 2.4.2 A CONDUÇÃO

Na condução em sólidos, a equação da energia, com a inserção da lei de Fourier, pode ser escrita, como:

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = (\nabla \cdot k \nabla T) \quad (12)$$

Quando a condutividade térmica é independente da temperatura ou da posição, a equação acima torna-se:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \nabla^2 T \quad (13)$$

CARSLAW e JAGER (1959) apresentam uma extensa tabulação de soluções para esta equação, para um número enorme de condições de contorno e condições iniciais.

### 2.4.3 A CONVECÇÃO

O fluxo térmico por convecção entre um contorno sólido e um fluido é dado pela equação:

$$q = A h_0 (T_s - T_\infty) \quad (14)$$

O coeficiente de transferência de calor convectivo é na realidade uma função complexa do escoamento do fluido, das propriedades térmicas do meio fluido e da geometria do sistema, além da sua dependência em relação à temperatura.

Para o estudo da convecção ao redor de sólidos (grãos) é necessário um estudo do escoamento sobre corpos bojudos. A diferença mais importante entre o escoamento sobre corpos bojudos e sobre uma placa plana se encontra no comportamento da camada limite.

O descolamento da camada limite de um fluido quando escoando sobre um corpo aerodinâmico ocorre quando o aumento da pressão ao longo da superfície se torna muito grande, e se dá perto da parte traseira. Já num corpo bojudo, o ponto de separação ocorre não muito longe da borda de ataque.

Num corpo bojudo, a resistência de atrito superficial é pequena comparada com a resistência de forma. A resistência de forma surge da separação do escoamento que impede que as linhas de corrente se fechem, induzindo uma região de baixa pressão na parte traseira do corpo. Essa diferença de pressão produz uma força resistente além do atrito superficial.

Quando as partículas utilizadas no estudo da transferência convectiva de calor têm uma forma irregular, as equações para esferas produzem resultados satisfatórios se o diâmetro da esfera for substituído por um diâmetro equivalente, definido como o diâmetro de uma partícula esférica que tenha a mesma área superficial que a partícula de forma irregular (KREITH, 1969).

Para a transferência de calor gás-esfera sólida, durante o aquecimento ou resfriamento, com o número de Reynolds entre 25 e 100.000, a equação para o número de Nusselt recomendada por McADAMS (1954) é:

$$\frac{h_e D_0}{k_f} = 0.37 \left( \frac{V_\infty \rho_\infty D_0}{\mu_f} \right)^{0.6} \quad (15)$$

SARTORI (1986) apresenta um extenso levantamento das relações de transferência de calor por convecção em meios porosos, na forma de número de Nusselt em função de número de Reynolds. Como, por exemplo, a equação de LEVA (1959) para leito fluidizado na faixa de número Reynolds menor que 100, e a equação de BOWERS & REINTJES (1961) para leito deslizante na faixa de número de Reynolds de 50 a 500, que são mostradas abaixo, respectivamente:

$$Nu = 0.0063 \cdot Re^{1.8} \quad (16)$$

$$Nu = 0.626 \cdot Re^{0.59} \quad (17)$$

onde  $Nu = hd_p/k_f$  e  $Re = G_r d_p/\mu$

A maior resistência à transferência de calor entre as fronteiras do sólido e os fluidos turbulentos é a subcamada laminar adjacente à parede. A resistência dessa camada laminar é proporcional à sua espessura, e qualquer redução na espessura resulta num aumento da taxa de transferência de calor entre a parede e o fluido.



Um meio de reduzir a espessura da camada laminar é aumentar a intensidade da turbulência do fluido. Isto é feito pela utilização de promotores de turbulência no duto. Conforme KNUDSEN e KATZ (1958), estudos feitos por Royds, Siegel e Colburn e King, mostraram que os promotores de turbulência realmente aumentam a taxa de transferência de calor. Entretanto, os promotores de turbulência também tem o efeito de aumentar a resistência ao escoamento, o que faz com que o calor transferido por unidade de energia gasta talvez não seja alterado.

## **2.5 SECAGEM**

Para simular o funcionamento de um secador industrial é indispensável calcular a cinética de secagem do produto.

A secagem de produtos sólidos com ar quente é uma operação unitária muito utilizada nas indústrias agrícolas e alimentícias, tanto motivada pela quantidade como pela diversidade dos produtos tratados (polpas de beterraba, cereais, alfafa, frutas, legumes, etc).

A necessidade de aprimorar a qualidade do produto final e, principalmente, devido ao aumento do preço da energia gasta, acarretou na última década, um renovado interesse por esta operação, mais por parte das indústrias químicas do que pelas indústrias alimentícias (DAUDIN, 1983).

Contrariamente às outras operações unitárias, não existe no momento um método universalmente admitido que permita prever a "performance" de um secador. Porém, dentro dos modelos de secadores publicados na literatura, pode-se distinguir dois conjuntos: o primeiro contém as informações relativas à cinética de secagem do produto, e o segundo define os balanços de calor e de massa entre o ar e o produto, em função de seus deslocamentos relativos dentro do aparelho.

## 2.5.1 AS CURVAS DE SECAGEM

Os produtos biológicos são muito diferentes entre si, devido a sua forma, estrutura, e suas dimensões, além das condições de secagem serem muito diversas, de acordo com as propriedades do ar de secagem e a forma como se faz o contato ar-produto. Uma vez que o produto é colocado em contato com ar quente, ocorre uma transferência do calor do ar ao produto sob o efeito da diferença de temperatura existente entre eles. Simultaneamente, a diferença de pressão parcial de vapor de água existente entre o ar e a superfície do produto determina uma transferência de vapor para o ar. Uma parte do calor que chega ao produto é utilizada para vaporizar a água e a outra para elevar a temperatura da mistura.

A evolução destas transferências simultâneas de calor e de massa no decorrer da operação de secagem faz com que esta seja dividida esquematicamente em três períodos, mostrados na Figura 1, onde são apresentadas as curvas de evolução do teor de água do produto ( $N_s$ ), de sua temperatura ( $T_s$ ) e da velocidade de secagem ( $dN_s/dt$ ), também chamada de taxa de secagem, ao longo do tempo, para um experimento utilizando ar de propriedades constantes.

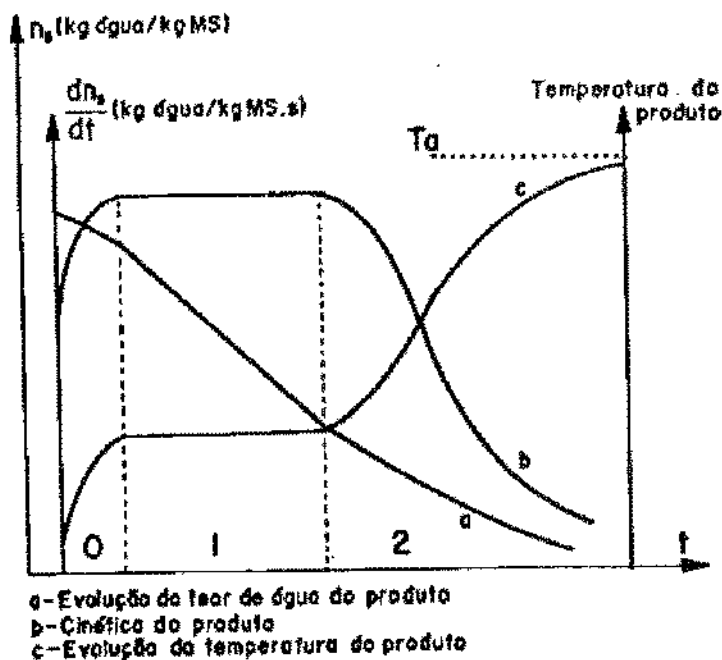


Figura 1: Curvas de secagem típicas.

A curva (a) representa a diminuição do teor de água do produto durante a secagem (umidade do produto,  $N_s$ , em base seca, em relação à evolução do tempo de secagem,  $t$ ). É a curva obtida pesando o produto a cada intervalo de tempo pré-fixado durante a secagem sob determinadas condições.

A curva (b) representa a taxa de secagem do produto,  $dN_s/dt$ , obtida diferenciando a curva (a).

A curva (c) representa a temperatura do produto durante a secagem.

Descrevendo os três períodos tem-se:

**Período 0** : Período de indução ou período de se entrar em regime operacional.

No começo da secagem, a temperatura do sistema ar-produto é baixa e a pressão parcial de vapor da água na superfície do produto ( $p$ ) é débil, e por consequência, a transferência de massa e a taxa de secagem também são débeis. Com a elevação da temperatura do produto ocorre um aumento de pressão e da taxa de secagem. Este fenômeno continua até que a Transferência de Calor compense exatamente a Transferência de Massa. Se a temperatura do ar for inferior àquela do produto, esta última diminuirá até atingir o mesmo estado de equilíbrio. A duração deste período é insignificante em relação ao período total de secagem.

**Período 1** : Período de taxa de secagem constante.

Durante este período, como no anterior, a quantidade de água disponível dentro do produto é bem grande. A água evapora-se como água livre. A pressão de vapor de água na superfície é constante e é igual à pressão de vapor de água pura à temperatura do produto. A temperatura do produto, por sua vez, é também constante e é igual à temperatura de bulbo úmido do ar, característica do fato de que as transferências de calor e de massa se compensam exatamente. A velocidade de secagem é, por conseguinte, constante.

Este período continua, enquanto a migração de água do interior até a superfície do produto for suficiente para acompanhar a perda por evaporação de água na superfície.

É bom ressaltar que para os materiais biológicos é difícil a existência deste período, pois as condições operacionais de secagem são tais que, as resistências às transferências de massa encontram-se essencialmente no interior do produto, fazendo com que a taxa de evaporação da superfície ao ambiente seja bem superior à taxa de reposição de umidade do interior à superfície do material.

**Período 2** : Período de taxa decrescente de secagem.

Desde o momento em que a água que migra do interior do sólido para a superfície começa a ser deficiente na superfície, a taxa de secagem diminui.

Apesar de alguns autores definirem o valor de teor de água do produto no ponto de transição entre os períodos 1 e 2 como sendo o teor de água crítico ( $N_s, cr$ ), seria conveniente denominar este ponto como o ponto de inflexão de taxa constante à taxa decrescente de secagem, pois este ponto, longe de ser uma propriedade física do material, é um ponto que depende inclusive das condições operacionais de secagem.

Durante este período, a troca de calor não é mais compensada, conseqüentemente, a temperatura do produto aumenta e tende assintoticamente à temperatura do ar. Por todo este período o fator limitante é a migração interna de água. Esta redução da taxa (ou velocidade) de secagem é às vezes interpretada como uma diminuição da superfície molhada no período 2, mas a interpretação mais frequente é pelo abaixamento da pressão parcial de vapor de água na superfície. No final deste período o produto estará em equilíbrio com o ar ( $N_s = N_s, e$ ) e a velocidade de secagem é nula.

VAN BRACKEL (1980) resumiu e classificou em doze categorias um grande número de curvas de taxa de secagem experimentais publicadas na literatura.

Na secagem da maioria dos produtos biológicos, somente o período de secagem a taxa decrescente (período 2) está presente. SHERWOOD (1929a,b), descrevendo a secagem do pescado, observou que o período 1 é muito mais curto que aquele indicado para categoria. SARAVACOS e CHARM (1962) e FORNELL, BIMBENET e ALMIN (1980) indicavam também, curtos períodos 1 para os produtos alimentares, mas a temperatura do produto evolui de sua temperatura inicial até a temperatura do ar, sem estabilizar na temperatura de bulbo úmido.

O período de secagem a taxa decrescente é às vezes dividido em dois ou três outros períodos. Entretanto para os produtos agrícolas e alimentares é bem difícil indicar com clareza as divisões nas curvas experimentais de secagem.

No decorrer do período de secagem a taxa decrescente (a única geralmente observada pelos produtos biológicos), é a migração interna da água que fixa a taxa de secagem. Os diferentes mecanismos que governam o movimento da água são: o movimento de água líquida sob efeito das forças de gravidade (desprezível na secagem de produtos biológicos); a migração capilar da água líquida sob a ação da tensão superficial; a difusão de água líquida sob o efeito de um gradiente de umidade segundo a Lei de FICK; a difusão de água líquida adsorvida sobre as superfícies internas dos poros vazios (somente para teores de água muito fracos); a difusão de vapor sob o efeito de um gradiente de pressão parcial de vapor de água; o escoamento de água sob o efeito de uma diferença de pressão total entre o interior e o exterior de produtos alimentícios; a migração de água líquida ou vapor sob o efeito de um gradiente de temperatura.

Estas transferências internas de massa são influenciadas por dois fenômenos particularmente importantes para os produtos biológicos: a migração dos solutos e a deformação do produto.

## 2.5.2 CÁLCULO DAS CINÉTICAS DE SECAGEM

Os métodos de cálculo da taxa de secagem são aplicados de modo diferente dependendo do período de secagem considerado. No período de taxa de secagem constante são as transferências de calor e de massa na interface ar-produto que governam a secagem e fixam a velocidade de secagem, enquanto que no segundo período são as transferências internas que são limitantes.

### 2.5.2.1 PERÍODO DE SECAGEM A TAXA CONSTANTE

Neste período, as equações definindo as transferências de calor e de massa na interface ar-produto são estabelecidas fazendo referência a uma noção de condutância de superfície, interpretada por um fenômeno de camada limite: forma-se uma fina camada de ar em escoamento laminar ao redor da partícula e há um equilíbrio de temperatura e umidade entre o ar e a superfície desta partícula.

As relações mais simples, que dão uma boa concordância com a prática experimental são:

$$\text{Fluxo de Calor por unidade de área: } Q = h_0 (T_\infty - T_s) \quad (18)$$

$$\text{Fluxo de massa por unidade de área: } N = k_{mp} (P - P_a) = (dN_s/dt) / A_s \quad (19)$$

Já que durante este período, o calor fornecido é igual ao calor necessário para evaporar a água, pode-se calcular o fluxo de massa  $N$  e obter a taxa de secagem pela seguinte equação:

$$N = k_q (T_\infty - T_s) / H_v \quad (20)$$

Esta última equação é geralmente utilizada, uma vez que a determinação do coeficiente de transferência de calor é mais precisa e mais fácil que a determinação do coeficiente de transferência de massa. Para as transferências em convecção forçada, o coeficiente é obtido a partir de uma relação adimensional de semelhança, tendo geralmente a seguinte forma:

$$Nu = B (Pr)^d (Re)^c \quad (21)$$

As constantes (B,d,c) adquirem diferentes valores em função da geometria do produto, do modo como se faz o contato ar-produto (empacotamento, partícula isolada, etc), da velocidade do ar e de suas propriedades físicas e do modo de escoamento ar-produto.

### **2.5.2.2 PERÍODO DE SECAGEM A TAXA DECRESCENTE**

Este período é quase sempre o único observado para a secagem de produtos agrícolas e alimentícios. A complexidade dos fenômenos da secagem conduz os pesquisadores a proporem numerosas teorias e múltiplas fórmulas empíricas para prever a taxa de secagem.

#### **2.5.2.2.1 ABORDAGEM TEÓRICA**

##### Migração de água por Difusão

Esta teoria se apoia exclusivamente sobre a lei de FICK, que expressa que o fluxo de massa por unidade de área é proporcional ao gradiente de concentração de água. Utilizando a lei de FICK na equação de balanço de massa de água no interior do produto, vem:

$$\frac{\partial X}{\partial t} = \nabla(D_{ef}\nabla X) \quad (22)$$

Onde:

$D_{ef}$  - é a difusividade efetiva

$X$  - representa a fração mássica de água, denominada umidade

Esta forma de FICK é simplificada, já que ela despreza a inter difusão, mas esta hipótese é justificada, uma vez que a água migra dentro de uma matriz fixa.

Independentemente dos trabalhos sobre secagem, CRANK (1967) calculou um grande número de soluções da equação de difusão para condições iniciais e de contorno variados. Entretanto, estas soluções se aplicam aos sólidos de formas geométricas simples (corpos semi-infinitos; placas, cilindros e esferas) e quando a difusividade é constante ou varia linearmente ou exponencialmente com a concentração de água. A maior parte deste trabalho se refere aos fenômenos difusionais isotérmicos.

Para o caso de secagem em sistemas de coordenadas esféricas, a equação pode ser escrita na seguinte forma, em termos de  $r$ ,  $\theta$  e  $\phi$ .

$$\frac{\partial X}{\partial t} = \frac{1}{r^2} \left\{ \frac{\partial}{\partial r} \left( r^2 D_{ef} \frac{\partial X}{\partial r} \right) + \frac{1}{\sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left( D_{ef} \sin \theta \frac{\partial X}{\partial \theta} \right) + \frac{D_{ef}}{\sin^2 \theta} \frac{\partial^2 X}{\partial \phi^2} \right\} \quad (23)$$

Assumindo que no interior da esfera de raio  $r_1$ , ocorre difusão somente na direção radial, a equação 23 se reduz à :

$$\frac{\partial X}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial r} \left( D_{ef} \frac{\partial X}{\partial r} \right) \quad (24)$$



onde a umidade  $X$  deve obedecer as seguintes condições de iniciais e de contorno:

$$t = 0 \quad 0 < r < r_1 \quad X = X_0 \quad (25)$$

$$t > 0 \quad r = 0 \quad X = \text{finita} \quad (26)$$

$$t > 0 \quad r = r_1 \quad X = X_{eq} \quad (27)$$

Supondo  $D_{ef}$  constante a solução do problema proposto, em termos da umidade adimensional  $\frac{X - X_{eq}}{X_0 - X_{eq}}$  é:

$$\frac{X - X_{eq}}{X_0 - X_{eq}} = 2 \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{n+1} \text{Exp} \left( \frac{-n^2 \pi^2 D_{ef} t}{r_1^2} \right) \frac{\text{sen } \lambda_n r_1}{\lambda_n r_1} \quad (28)$$

Definindo a média volumétrica de  $f(r)$  como:

$$\bar{f} = \frac{3 \int_0^{r_1} f(r) r^2 dr}{\pi_1 r_1^3}$$

e aplicando na equação 28, obtém-se:

$$R = \frac{\bar{X} - X_{eq}}{X_0 - X_{eq}} = \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \text{Exp} \left[ \frac{-n^2 \pi^2 D_{ef} t}{r_1^2} \right] \quad (29)$$

Onde:

- R = umidade adimensional;
- $\bar{X}$  = umidade média (kg H<sub>2</sub>O / kg Massa Seca);
- X<sub>eq</sub> = umidade de equilíbrio (kg H<sub>2</sub>O / kg Massa Seca);
- X<sub>o</sub> = umidade no instante inicial (kg H<sub>2</sub>O / kg Massa Seca);
- D<sub>ef</sub> = difusividade efetiva (m<sup>2</sup>/s);
- t = tempo (s);
- r<sub>1</sub> = comprimento característico; raio médio da amostra (m).

Este modelo tem sido aplicado para ajustar dados de secagem de vários materiais biológicos (JASON, 1958; DAUDIN, 1983; KARATHANOS et alli, 1990; PARK, ALONSO, GODOI, 1996).

Este método é baseado na suposição de que a transferência de calor possa ser desprezada e a secagem possa ser tratada como uma difusão puramente controlada pelo fenômeno de transferência de massa. Isto foi baseado em vários estudos experimentais que indicaram a existência de pequenos gradientes de temperaturas dentro dos alimentos durante o processo de secagem.

O coeficiente de difusão (D<sub>ef</sub>) é uma difusividade efetiva, que engloba os efeitos de todos os fenômenos podendo intervir sobre a migração da água, e seu valor é sempre obtido pelo ajuste das curvas experimentais. A solução da equação de difusão utilizada é uma das mais simples e parece ser a principal razão de seu emprego.

A aplicação deste conceito é atribuído aos pesquisadores LEWIS (1921) e SHERWOOD (1929a,b).

## Migração Capilar e Difusão de Vapor

KRISCHER e KRÖLL (1963) expõem em detalhe a teoria do movimento capilar de água líquida dentro de sistemas simples constituídos de alguns tubos capilares e dentro de sistemas complexos como os corpos porosos. O princípio é o seguinte: para um tubo capilar isolado, a pressão de sucção e então a ascensão da água dentro do capilar, é proporcional à tensão superficial da água e inversamente proporcional a seu raio. Admitindo-se que a tensão capilar é finalmente associada ao teor de água, este autor estabelece uma lei geral na qual o fator de potencialidade é o gradiente de teor de água. Os autores também agregam a este fluxo de água líquida, um fluxo de vapor de água que se teria dentro dos poros depois da retirada do líquido.

Entretanto, estudando a cinética de secagem da batata, LABUZA e SIMON (1970) demonstram a fraca importância da migração capilar para os produtos vegetais.

## Modelo de Frente de Evaporação

É uma simplificação do modelo precedente. Este modelo supõe que no começo da secagem a água líquida migra para superfície por capilaridade, depois a partir de um momento dado, a água não flui mais até esta superfície; o limite entre a parte que contém a água líquida e a parte seca se aprofunda dentro do produto e define a frente a partir da qual a água se vaporiza. A espessura crescente que deve atravessar o vapor até a superfície e o calor até esta frente, explicaria a diminuição da velocidade de secagem (DAUDIN, 1983).

## Teorias Modernas

LUIKOV e MIKHAYLOV (1965) e LUIKOV (1966) apresentaram os primeiros trabalhos concernentes à aplicação da termodinâmica dos processos irreversíveis ou termodinâmica de não-equilíbrio às transferências simultâneas de calor e de massa dentro de meios porosos.

Esta teoria propõe que cada um dos fluxos considerados é influenciado por todos os outros fluxos presentes. Por exemplo, num caso simples, a transferência de água é decomposta em duas partes: na primeira, intervém o gradiente de teor de água como na lei de difusão, e na outra, o gradiente de temperatura. Estes dois autores calcularam as soluções analíticas do sistema de equações, estabelecido por esta teoria para numerosas condições de contorno e iniciais, mas sempre para coeficientes constantes.

Por outro enfoque, WHITAKER (1980) desenvolveu uma teoria de transferências simultâneas de calor e de massa que considera a estrutura do material e os fenômenos físicos.

De uma maneira geral, os modelos que consideram as transferências simultâneas de calor e de massa são complicados. A resolução dos mesmos exige meios de cálculos complexos, sobretudo quando se considera a variação dos coeficientes de difusão de massa com a temperatura e o teor de água. Além disso, eles não levam em conta nem a deformação do produto, nem sua heterogeneidade, o que aumentaria ainda a dificuldade.

#### **2.5.2.2.2 ABORDAGEM EXPERIMENTAL**

As equações de modelos teóricos são fáceis de resolver, se não ponderarem a complexidade dos fenômenos físicos envolvidos, caso contrário a resolução delas exige meios de cálculo complexos, já que algumas particularidades são apreciadas. Por exemplo, a dependência da difusividade com a umidade. Além disso, as medidas das constantes físicas indispensáveis para o cálculo são longas, delicadas e conseqüentemente custosas.

Estas observações conduziram numerosos pesquisadores a se orientarem no sentido de uma abordagem empírica, na qual a lei da secagem é tirada diretamente de experiências de secagens realizadas em laboratório.

Um exemplo de equação empírica largamente utilizada para secagem de grãos é a equação de Page:

$$\frac{X - X_{eq}}{X_0 - X_{eq}} = A_p \exp(-st^c) \quad (30)$$

### 2.5.2.3 CURVAS DE SECAGEM RECENTES ENCONTRADAS NA LITERATURA

Encontram-se na literatura vários modelos de predição da taxa de perda de umidade durante a secagem de produtos agrícolas, tais como modelos empíricos e semi-empíricos tanto para a secagem em camada fina, quanto para secagem em silo, modelos para secagem em leito fluidizado, e outros leitos.

Abaixo são apresentados alguns dos trabalhos mais recentes (1984-1994) encontrados na literatura. Os modelos são apresentados na forma de quadro (Quadro 1), onde estão mostrados: a expressão matemática, o produto, peculiaridades, e as referências.

EXPRESSÃO	PRODUTO	PECULIARIDADES	REFERÊNCIA
$R = \exp(-Kt^N)$	semente de girassol	camada fina $K = 5,16 \cdot 10^{-5} (T)^{1,8387}$ $N = 1,009 - 0,0049 T$	Syarief, Morey, Gustafson (1984)
$R = \exp(-Kt^N)$	pecã armazenada	camada fina $K = 3,349 \cdot 10^{-1} + 1,010 \cdot 10^{-2} + 1,803 \cdot 10^{-4} T^2 + 3,45 \cdot 10^{-5} UR^2$ $N = 0,6996$	Chhinnan (1984)
$R = \exp(-Kt^N)$	milho	camada fina $K = 1,091 \cdot 10^{-2} + 2,767 \cdot 10^{-6} T^2 + 7,286 \cdot 10^{-6} T + M_0$ $N = 0,5375 + 1,141 \cdot 10^{-5} M_0^2 + 5,183 \cdot 10^{-5} T^2$	Li, Morey (1984)
$R = \exp(-Kt^N)$	semente de girassol	camada fina $K = 5,66 \cdot 10^{-4} T^{1,271}$ $N = 0,8281 - 0,004 T + 0,000091 T M_0$	Li, Morey, Afinrud (1987)
$R = \exp(-Kt^N)$	soja	camada fina $K = -0,2625 + 0,004916 T + 0,003033 UR$ $N = 0,8267$	Osborn, White, Walton (1991)
$R = \exp(-Kt^N)$	canola	camada fina $K = 0,1153$ $N = 0,733 - 2,13 \cdot 10^{-3} T + 4,9 \cdot 10^{-5} T^2$	Pathak, Agrawal, Singh (1991)

Quadro 1 - Modelos de secagem

$R = \exp(-Kt^N)$	arroz cru parabolizado	camada fina estacionária, fluidizada e semi-fluidizada $N = 0,812$ $K = -0,013828 + 0,001135 T$ $- 0,000922 h - 0,000233 v +$ $0,003895 UR$ $h =$ altura da camada $v =$ velocidade do ar	Prasad, Chandra, Bal (1994)
$R = \exp(-Kt)$	alfafa	solar em ambiente protegido $K = [71,2 (SI) + 0,660 (VPD)]$ $/ [5750 (DEN) - 3170]$ $SI =$ radiação solar $VPD =$ déficit de P de vapor $DEN =$ densidade	Firestone, Walker, Puri (1988)
$R = \exp(-Kt)$	espiga de trigo	imersa em água por 48 horas $K = 0,641 + 0,044 (M_0 - M_e) -$ $0,043 M_0$ spray de água por 1 hora $K = 0,086 + 0,00249 (M_0 -$ $M_e)$ spray de água por 5 horas $K = 0,099 + 0,000975 (M_0 -$ $M_e)$	Versavel, Muir (1988a)
$R = \exp(-Kt)$	cerne do arroz	monocamada $K = -0,013261538(IMC) +$ $0,0417326557 (L_2/L_3)$ $IMC =$ umidade inicial (%b.s.) $L_2/L_3 =$ razão entre largura e espessura do cerne	Banaszek, Siebenmorgen (1993)

Quadro 1 - Modelos de secagem (continuação)

$R = \exp(-Kt)$	folha e talo da alfafa	$k = 0,133 L^{-0,48}$ $L =$ comprimento do talo (mm)	Patil et alii (1992)
$R = \exp(-Kt)$	cevada	camada fina $k = 0,002541 + 4,0130 \cdot 10^{-6} T^2 - 1,78447 \cdot 10^{-5} UR$	Jayas, Sokhansanj (1989)
$R = \exp(-Kt)$	espigas de milho reumidificadas	ambiente simulando secagem no campo $K = -1,660 + 0,000833 \text{ rad} + 0,000454 Pd T + 0,0766 \ln(UR) + 488/T$ rad = radiação total Pd = déficit de P de vapor	Versavel, Muir (1988b)
$t = \frac{\ln A - \ln R}{BR + C}$	arroz	p/ monocamada, baixa temp. $A = 0,07135 + 0,0081998 M + 0,0013924 T - 0,000151 UR - 0,000163 Q$ $B = -0,013244 - 0,000654 M + 0,0017915 T - 0,000263UR$ $C = 0,001952 + 0,0000386 M - 0,00006043 T - 0,00003546 UR$ p/ monocamada, alta temp. $A = 0,30545 + 0,0254 M - 0,01773 T + 0,00031 UR - 0,000265 M^2 + 0,000144 T^2$ $B = 1,2295 - 0,04293 T + 0,00135 UR + 0,000368 T^2$ $C = 0,01068 - 0,000254 UR - 0,00000992 M^2 + 0,0000038 T^2$	Noomhorm, Verma (1986a)

Quadro 1 - Modelos de secagem (continuação)



$t = \frac{\ln A - \ln R}{BR + C}$	arroz	<p>p/ camada profunda</p> <p>A = 0,07135 + 0,0081998 M + 0,0013924 T - 0,000151 UR - 0,000163 Q</p> <p>B = -0,013244 - 0,000654 M + 0,0017915 T - 0,000263 UR</p> <p>C = 0,001952 + 0,0000386 M - 0,00006043 T - 0,00003546 UR</p>	Noomhorm, Verma (1986b)
$R = \sum_1^{\infty} \frac{6(1+\lambda)\lambda}{9+9\lambda+q_n^2\lambda^2} e^{-F_0 q_n}$	milho	<p>secagem com bentonita</p> <p><math>\lambda = (M_0 - M_e) / M_e</math></p> <p><math>\tan q_n = \frac{3q_n}{3 + \lambda \cdot q_n^2}</math></p> <p>Fo = Dt/a<sup>2</sup></p>	Graham, Bilanski (1986)
$R = \sum_0^{\infty} \frac{2}{(\lambda_n L)^2} e^{-(D/L^2)(\lambda_n L)^2}$ $R = \sum_1^{\infty} \frac{4}{(\beta_n R)^2} e^{-(D/R^2)(\beta_n R)^2}$	tabaco Burley, respectivamente p/ lâmina e caule	<p><math>\lambda_n L = (2n + 1)\pi/2</math></p> <p>D = coef. difusão massa</p> <p><math>\beta_n R =</math> raiz positiva de <math>J_0(\beta_n R) = 0</math></p> <p><math>J_0(\beta_n R) =</math> Função de Bessel de ordem 0</p>	Walton et alii (1984)
$R = 6 \sum_1^{\infty} \frac{\left( \frac{(\sin \lambda_n R - \lambda_n R \cos \lambda_n R)^2}{(\lambda_n R)^3 (\lambda_n R - \sin \lambda_n R \cos \lambda_n R)} \right) e^{(-D'/R^2)(\lambda_n R)^2 t}}$	milho	<p><math>\lambda_n R \cos \lambda_n R =</math></p> <p><math>\left( 1 - \frac{R / D' \rho_s \beta}{R_{ps} + R_p + R_{bl}} \right) \sin \lambda_n R</math></p> <p>D' = coef. difusão</p> <p>R<sub>ps</sub> = resistência dos poros</p> <p>R<sub>p</sub> = resistência do pericarpo</p> <p>R<sub>bl</sub> = resistência da camada limite</p>	Walton, White, Ross (1988)

Quadro 1 - Modelos de secagem (continuação)

$M_{k2} = -K_L t (M_{k1} - M_{ke}) - K_v t (rh_k - rh_h) + M_{k1}$ $M_{h2} = -H_L t (M_{h1} - M_{he}) - H_v t (rh_h - rh) + M_{h1} - (M_{k2} - M_{k1}) D_k / D_h$	amendoim	camada fina $K_L = 0,035 \text{ h}^{-1}$ $H_L = 0,116 \text{ h}^{-1}$ $K_v = 0,009 \text{ h}^{-1}$ $H_v = 0,291 \text{ h}^{-1}$	Colson, Young (1990)
$R = \frac{8}{l^2} \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{1}{\alpha_n^2 \beta_m^2} e^{-(\alpha_n^2 \beta_m^2) t}$	arroz cru	$\alpha_n = \text{raizes de } J_0(x)$ $l = L/R$ $\beta_m = [(2m-1)\pi]/2l$	Ece, Cihan (1993)
$\rho C \frac{\partial T}{\partial t} = \text{div} (K \text{ grad } T)$ $\frac{\partial M}{\partial t} = \text{div} (D \text{ grad } M)$	cevada	camada fina $-D \frac{\partial M}{\partial n} = h_m (M - M_e)$ $-K \frac{\partial T}{\partial n} = h_T (T - T_a) - k\rho [h_{fg} + C_v (T_a + T)] h_m (M - M_e)$ $h_T = 43 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ $h_m = 1,08 \cdot 10^{-6} \text{ ms}^{-1}$ $k = 1,32$	Miketinac, Sokhansanj, Tutek (1992)

Quadro 1 - Modelos de secagem (continuação)

No quadro acima R é o adimensional de umidade, que é representado por:

$$R = \frac{\bar{X} - X_{eq}}{X_0 - X_{eq}} \quad (31)$$

## 2.6 COMPARAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Da energia requerida no processamento de produtos agropecuários, a secagem representa 89,5% do total da energia necessária, conforme quadro (Quadro 2) da relação entre a energia requerida para a secagem e a requerida para o processamento de algumas matérias-primas agropecuárias (MEYER et alii, 1982).

Base: Produção de uma tonelada com 11% de umidade.

Matéria -Prima	Operação	Energia requerida (1000 Kcal/Ton)	% da energia da secagem com relação ao total
Cereais e leguminosas com teor de 20%	Transporte	0,4	0,23%
	Limpeza	0,3	0,18%
	Secagem	157	89,5%
	Aeração	17	9,69%
	Expurgo	0,7	0,40%
	Total		175,4

Quadro 2 - Energia requerida pelas operações de processamento.

Para que se tenha uma seleção apropriada de um sistema de secagem, é necessário que se faça uma análise prévia e criteriosa das necessidades energéticas requeridas no processo de secagem, de maneira a conseguir uma combinação muito favorável entre custos e qualidade final do produto.

Desse modo a compreensão do processo de secagem, pela análise e combinação dos resultados obtidos nos estudos hidrodinâmico, de transferência de calor e de transferência de massa, determinará o ponto de maior eficiência energética, onde um conjunto pode operar, sem no entanto prejudicar a qualidade final do produto.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 EQUIPAMENTO

Um secador convectivo vertical contínuo munido de promotores anulares estáticos de mistura foi construído em cilindros de acrílico transparente, com diâmetro interno de 117mm. Em seu interior foram instalados promotores de mistura estáticos com pás retorcidas e de sentidos alternados, sendo cada par dessas pás chamado de um passo, como apresentado na figura 2 (PATENTE nº 8700583).

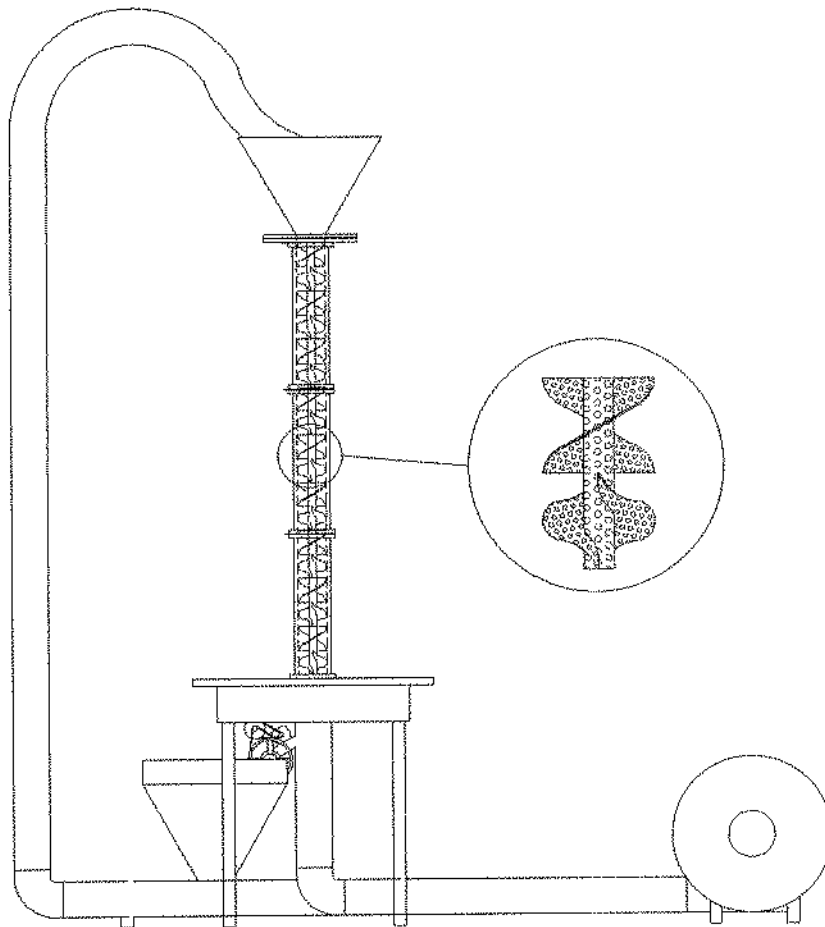


Figura.2 Detalhes do secador com promotores estáticos anulares de mistura

Os promotores de mistura são constituídos de chapas de aço, que apresentam 2,5 furos (diâmetro do furo 2mm) por centímetro quadrado, e soldados na superfície de um tubo de aço com 32mm de diâmetro externo. O comprimento linear de um passo é 200mm e o ângulo de torsão é de 180 graus.

Os grãos e o ar de secagem escoam em contra-corrente no interior dos cilindros. Os grãos são movimentados por um sistema de transporte pneumático até o silo localizado na parte superior do equipamento, e depois escoam por gravidade pela coluna de secagem. Uma chapa perfurada com uma abertura de 72cm<sup>2</sup> desliza horizontalmente, na saída do silo permitindo controlar a vazão de entrada dos grãos no secador. A chapa possui pontos de fixação (fixadores) a cada 4cm, para que através de diferentes secções seja possível controlar o escoamento dos grãos, conforme figura 3.

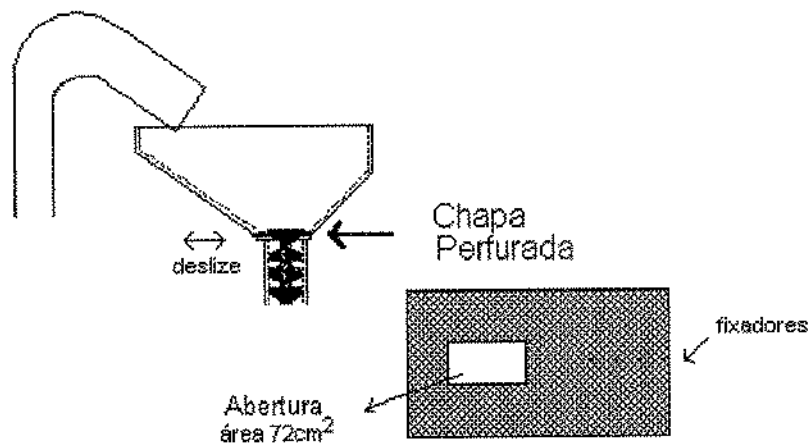


Figura 3 Detalhe do Silo armazenador

Na parte inferior do equipamento há um sistema de descarga de grãos, constituído por uma tubulação na forma de um Y deslocado para permitir a passagem ascendente do ar de secagem e ao mesmo tempo a passagem descendente dos grãos. Os grãos quando saem do descarregador são retirados do sistema ou lançados em uma moega para serem recirculados pelo sistema de transporte pneumático.

O ar de secagem era obtido fazendo o ar ambiente insuflado pelo ventilador passar por uma caixa de aquecimento. Esta foi contruida em madeira e revestida com amianto, e abrigava um conjunto de 12 lâmpadas de 200W cada, que eram acionadas duas a duas por interruptores independentes. Duas das lâmpadas eram acionadas pelo controlador / indicador de temperatura.

Foi utilizado um ventilador centrífugo de 7,5 HP da marca Kongskiold para insuflar o ar no secador e para prover o fluxo de ar necessário para o transporte pneumático dos grãos.

### 3.2 OUTROS EQUIPAMENTOS

Foram utilizados ainda alguns equipamentos, tais como:

- Balança analítica, marca SARTORIUS, modelo 2006MP, precisão de  $\pm 0,0001g$
- Balança semi-analítica, marca SETRA, modelo 2000L, precisão de  $\pm 0,01g$
- Termo-anemômetro marca AIRFLOW TA-2, para velocidades de 0 a 2 m/s, com precisão de  $\pm 2\%$
- Tubo de Pitot
- Manômetro de tubo em U
- Estufa laboratorial, marca FANEM, modelo 315 SE
- Cadinhos de alumínio

- Termopares tipo "T"
- Controlador / Indicador de temperatura, marca CONTEMP, modelo CDC99
- Data Logger para 20 canais, da marca ECD, modelo M5000C
- Determinador universal de umidade, marca GEHAKA
- Termohigrógrafo, marca RENÉGRAF, modelo TH508
- Bandejas plásticas, com capacidade para 5kg de grãos
- Beckers
- Cronômetros

### **3.3 MATÉRIA-PRIMA**

Foram utilizados seis (6) sacos de 40 kg de sementes de soja (*Glycine max*) da marca SEMEL, variedade IAC 14, lote 405/95, com pureza de 99,9%.

### **3.4 MÉTODOS**

#### **3.4.1 PROPRIEDADES FÍSICAS DA SOJA**

Foram determinadas propriedades físicas das sementes de soja como : diâmetro médio das partículas, esfericidade, densidade real e densidade aparente (MOHSENIN, 1986).

## Densidade Real

A densidade real dos grãos foi determinada pelo método do picnômetro usando álcool e proveta de 50ml. Tomou-se uma proveta de 50ml, pesou-se a proveta e completou-se o volume com o grão e em seguida pesa-se novamente a proveta e têm-se a massa de grãos, preenche-se o volume restante com álcool. Com o volume conhecido de álcool determina-se o volume ocupado pelo grão, e calcula-se a densidade real do grão.

$$\rho_r = m/V \quad (32)$$

onde	m : massa de grãos	[kg]
	V : Volume ocupado	[m <sup>3</sup> ]
	$\rho_r$ : Densidade real	[kg/m <sup>3</sup> ]

## Densidade Aparente

A densidade aparente foi determinada medindo o volume em uma proveta de 1000ml.

$$\rho_a = m/V \quad (33)$$

onde	m : massa de grãos	[kg]
	V : Volume ocupado	[m <sup>3</sup> ]
	$\rho_a$ : Densidade aparente	[kg/m <sup>3</sup> ]

## Diâmetro Médio

O diâmetro médio dos grãos foi determinado, realizando-se peneiramento dos grãos com peneiras de diâmetro conhecido. Determinou-se a fração de grãos retida em cada peneira e calculou-se o diâmetro médio dos grãos.



$$d_p = 1/\Sigma(X/p) \quad (34)$$

onde	$d_p$ : diâmetro médio	[mm]
	X : fração retida na peneira	[adm.]
	p : diâmetro da peneira	[mm]

### **Esfericidade dos Grãos**

De cada peneira tomou-se uma amostra aleatória de 20 grãos e mediu-se suas dimensões (altura, comprimento e largura). Assumiu-se uma forma cilíndrica para os grãos e a média das dimensões da base como diâmetro da base. Calculou-se a área externa de cada grão e assumindo como área de uma esfera calculou-se o volume da esfera equivalente.

À partir da massa dos 20 grãos e da densidade real calculou-se o volume real dos grãos. A razão entre a superfície da esfera equivalente e a superfície dos grãos é a esfericidade do grão ( $\phi$ ).

## **3.4.2 ESTUDO HIDRODINÂMICO**

O estudo hidrodinâmico do secador foi composto de três partes, a saber: estudo da perda de carga, estudo dos escoamentos no interior do secador e estudo do tempo de residência.

### **3.4.2.1 PERDA DE CARGA**

O estudo da perda de carga foi realizado utilizando-se diferentes vazões de ar, e o secador com leito vazio, com leito estático de grãos e com o leito móvel de grãos ( diferentes velocidades de descarga de grãos ).

O diâmetro equivalente do secador, 4 vezes o raio hidráulico, é dado por:

$$D_e = \frac{4 \left[ \left( \frac{\pi}{4} \right) (D_2^2 - D_1^2) - (D_2 - D_1)e \right]}{[(D_2 - D_1) + 2(D_2 - D_1 - 2e)]} \quad (35)$$

onde  $D_2$  : diâmetro interno do cilindro de acrílico, 117mm.  
 $D_1$  : diâmetro externo do promotor estático de mistura, 32mm.  
 $e$  : espessura da aleta de mistura, 2mm.  
 $D_e$  : diâmetro equivalente, 92,2mm.

O comprimento real do promotor de mistura é dado por (PARK, 1979):

$$L_s = L_a [1 + (\pi\lambda)^2]^{1/2} \quad (36)$$

onde  $L_a$  : comprimento do promotor de mistura, 600mm.  
 $\lambda$  : razão de torção, 0,5.  
 $L_s$  : comprimento real do promotor de mistura, 1110mm.

O fator de atrito de Darcy,  $f = 64/Re$  para um fluxo laminar, foi obtido aplicando a perda de carga para um tubo de comprimento real ( $\Delta P/L_s$ ) (BIRD, STEWART, LIGHTFOOT, 1960):

$$f_d = \left( \frac{\Delta P}{L_s} \right) \left( \frac{2D_e}{\rho V_s^2} \right) \quad (37)$$

$$V_s = V_a [1 + (\pi\lambda)^2]^{1/2} \quad (38)$$

Foi obtida a porosidade do leito ( $\varepsilon$ ), pela equação de Ergun (LEVENSPIEL & KUNII, 1969):

$$\Delta P = 150 \frac{(1-\varepsilon)^2}{\varepsilon^3} \frac{V_s \mu}{(\varphi d_p)^2} + 1,75 \frac{(1-\varepsilon)}{\varepsilon^3} \frac{\rho V_s}{(\varphi d_p)} \quad (39)$$

### 3.4.2.2 ESTUDO DOS ESCOAMENTOS

O estudo dos escoamentos no interior do secador foi feito usando três regimes de escoamento de grãos e três vazões de ar diferentes. Os experimentos foram realizados segundo GYENIS et alii (1994) a fim de determinar os fluxos básicos de escoamento no secador, como descrito a seguir, e mostrado na figura 4:

a - Regime de Fluxo Denso; foi obtido preenchendo o silo armazenador do secador e controlando a vazão de descarga, através da velocidade do motor do descarregador.

b - Regime de Fluxo Intermediário ; foi obtido preenchendo o silo armazenador do secador e aplicando a máxima vazão de descarga.

c - Regime de Fluxo em Queda-livre; foi obtido preenchendo o silo armazenador do secador, controlando a vazão de alimentação através da placa perfurada na saída do silo armazenador e aplicando a máxima vazão de descarga.

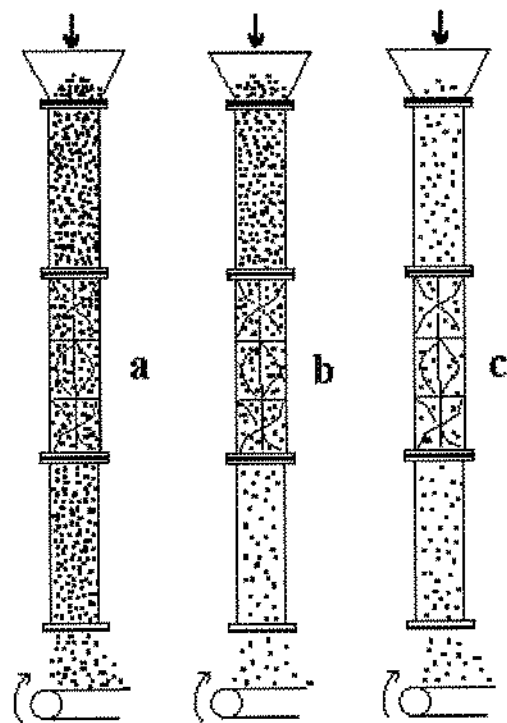


Figura 4 - Diagrama de Regimes de Escoamento

### 3.4.2.3 TEMPO DE RESIDÊNCIA

O tempo de residência dos grãos no secador foi determinado pelo método de pulso. Grãos pintados foram colocados no secador e foi medido o tempo necessário para que o primeiro grão pintado deixasse o secador e para que todos os grãos pintados deixassem o secador. Para este estudo foram utilizados os regimes de escoamento denso e o regime de escoamento em queda-livre estudados anteriormente com as mesmas vazões de ar.

A variação nos tempos de residência do material no equipamento foi avaliada pelas funções distribuição do tempo de residência conforme mostrado a seguir:

$$E(t) = \frac{dF(t)}{dt} \quad (8)$$

Após a determinação da distribuição dos tempos de residência, o tempo de residência médio ( $t_m$ ) foi calculado pela a equação abaixo:

$$t_m = \int_0^{\infty} E(t) t dt \quad (9)$$

onde:  $\int_0^{\infty} E(t) dt = 1$

### 3.4.3 ESTUDO DE TRANFERÊNCIA DE CALOR

Foram medidas as temperaturas em diferentes regiões do secador, utilizando diferentes vazões e temperaturas do ar de secagem. As temperaturas foram medidas com termopares, previamente calibrados, inseridos no secador, e para cada uma das situações estudadas foi levantado o perfil de temperatura do ar no interior do secador.

Para determinar o perfil de temperatura do ar no interior do secador, 15 termopares de cobre-constantan (tipo "T") foram inseridos ao longo da coluna. Os termopares foram distribuídos em cinco alturas diferentes da coluna, com 3 termopares em cada altura num arranjo radial. A distribuição dos termopares ao longo do secador está mostrada na figura 5.

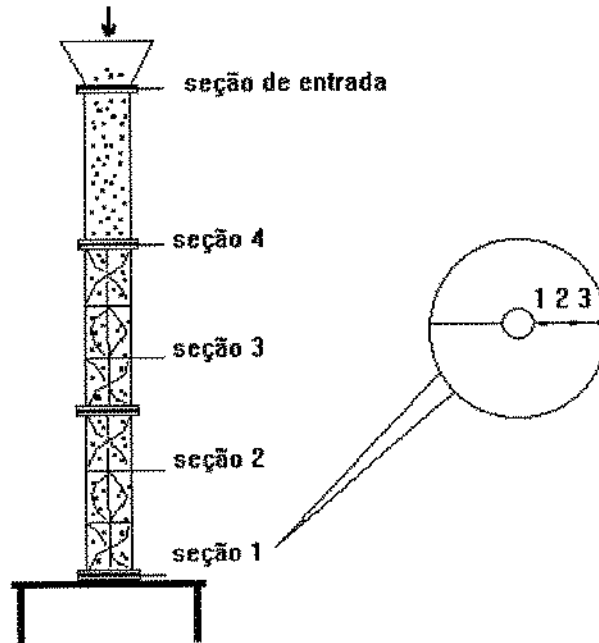


Figura 5 - Distribuição dos termopares ao longo do secador

Os dados de temperatura foram lidos e armazenados por um Data Logger serie M5000 da ECD Inc.

A temperatura dos grãos foi medida por calorimetria, com a retirada de amostras na entrada e na descarga da coluna de secagem no mesmo momento, a intervalos de tempo regulares (6, 8, 10 e 15 min.) em cada corrida experimental.

### 3.4.4 SECAGEM

Foi realizada a secagem de soja previamente umidificada, com duas vazões e três temperaturas do ar de secagem, e com duas vazões de grãos, para cada regime de escoamento de grãos anteriormente estudado.

A evolução da umidade dos grãos durante a secagem foi avaliada por um medidor universal de umidade, com a retirada de amostras na entrada e na descarga da coluna de secagem, no mesmo momento em que se colhiam as amostras para a determinação de temperatura dos grãos por calorimetria.

Foi efetuada a calibração do medidor universal de umidade pelo método de determinação de umidade de soja em estufa da ASAE Standards (105°C por 72 h).

As curvas de secagem foram obtidas graficando a umidade adimensional contra o tempo de secagem. A umidade adimensional (R) foi calculada pela seguinte equação:

$$R = \frac{\bar{X} - X_{eq}}{X_0 - X_{eq}} \quad (31)$$

Onde:

- R = umidade adimensional;
- $\bar{X}$  = umidade média (kg H<sub>2</sub>O / kg Massa Seca);
- $X_{eq}$  = umidade de equilíbrio (kg H<sub>2</sub>O / kg Massa Seca)
- $X_0$  = umidade no instante inicial (kg H<sub>2</sub>O / kg Massa Seca);

A umidade de equilíbrio foi obtida segundo Roa e Roa (1980):

$$X_{eq} = (p_1RH + p_2RH^2 + p_3RH^3) \exp [(q_0 + q_1RH + q_2RH^2 + q_3RH^3 + q_4RH^4)(T + q_5)] \quad (40)$$

Foram levantadas curvas de secagem, para cada uma das 24 corridas experimentais, conforme mostrado na Tabela 1:

Tabela 1 : Características das corridas experimentais

Corrida	Regime de escoamento	Velocidade do ar (m/s)	Temperatura do ar (°C)	Vazão de grãos (g/s)
1	denso	0,7	60	160
2	denso	0,7	60	210
3	denso	1,0	60	160
4	denso	1,0	60	210
5	denso	0,7	50	160
6	denso	0,7	50	210
7	denso	1,0	50	160
8	denso	1,0	50	210
9	queda-livre	0,7	50	210
10	queda-livre	0,7	50	160
11	queda-livre	1,0	50	160
12	queda-livre	1,0	50	210
13	queda-livre	0,7	60	210
14	queda-livre	0,7	60	160
15	queda-livre	1,0	60	160
16	queda-livre	1,0	60	210
17	queda-livre	1,0	70	210
18	queda-livre	1,0	70	160
19	queda-livre	0,7	70	160
20	queda-livre	0,7	70	210
21	denso	0,7	70	160
22	denso	0,7	70	210
23	denso	1,0	70	160
24	denso	1,0	70	210

Dois modelos de cinética de secagem foram testados, sendo um empírico, o modelo de Page, conforme a equação 30, e outro teórico, o modelo difusional baseado na lei de Fick, conforme a equação 29, truncando a série conforme descrito abaixo.

O cálculo da difusividade efetiva foi efetuado utilizando-se o procedimento de regressão não linear do pacote estatístico SAS (STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM, 1985). Para isso montou-se uma tabela de três colunas: uma identificando a corrida experimental, outra com o tempo em horas e outra com o adimensional R, de modo que, apenas uma tabela represente todas as curvas.



Estes dados foram colocados em um programa de entrada de dados do SAS, conforme indica o Anexo 1.

Para facilitar os cálculos com o programa, as variáveis  $D_{ef}$  e  $r$  foram agrupados num único parâmetro  $k$ , como mostrado abaixo:

$$k = \frac{D_{ef}}{r^2} \quad (41)$$

Com os dados carregados, a equação 29 foi utilizada para o cálculo da difusividade efetiva, utilizando 3, 5, 10, 15 e 20 primeiros termos da série. Assim esta equação toma a forma indicada no Anexo 2, onde também são indicados as derivadas primeira e segunda da referida equação em relação ao parâmetro  $k$ , para 20 termos da série. Para estes cálculos foi utilizado o "software" Mathematica.

O programa que calculou o parâmetro  $k$  pelo SAS está mostrado no Anexo 3.

Carregando os mesmos dados experimentais, os parâmetros de ajuste da equação de Page (equação 30) foram também estimados pelo procedimento de regressão não linear do pacote estatístico SAS.

A energia de ativação foi estimada com base na equação do tipo Arrhenius, que relaciona as difusividades efetivas com as temperaturas de secagem:

$$\ln(D_{ef}) = \ln(A) - \frac{E_a}{RT} \quad (42)$$

Onde:

$D_{ef}$  = difusividade efetiva ( $m^2/s$ );

$A$  = constante da equação linear;

$E_a$  = energia de ativação ( $kJ / mol$ );

$R$  = constante universal dos gases =  $8.1314 J / mol.K$ ;

$T$  = temperatura absoluta ( $K$ ).

### **3.5 COMPARAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**

Foi efetuada uma otimização do secador para a secagem de soja através da solução conjugada das equações do perfil de temperatura e de secagem da soja, em cada regime de operação.

Uma avaliação energética foi efetuada e então realizada uma comparação deste secador com o modelo KW 110R da Kepler Weber existente no mercado.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS

Foram determinados: o diâmetro médio das partículas, a esfericidade, a densidade real e a densidade aparente das sementes de soja, que estão mostrados nas tabelas de 2 a 9.

Tabela 2 : Densidade real

Amostra	1	2	3	4	5	$\Sigma$	$\rho_r$ (kg/m <sup>3</sup> )
Volume (ml)	41,0	40,0	43,0	41,5	44,0	207,5	1204

Massa de cada amostra 50g

Tabela 3 : Densidade aparente

Amostra	1	2	3	4	5	$\Sigma$	$\rho_a$ (kg/m <sup>3</sup> )
Massa(g)	779,5	780,5	781,5	780,0	778,5	3910,0	782

Volume de cada amostra 1000ml

Tabela 4 Distribuição dos grãos na peneira

PENEIRA	MASSA (g)	FRAÇÃO	DIÂMETRO (mm)	Fração Diâmetro
n° 16	20,84	0,08	6,305	0,012
n° 15	172,08	0,65	5,953	0,109
n° 14	67,61	0,27	5,556	0,046
n° 13	3,30	0,01	5,159	0,002
$\Sigma$	263,83	1,00	22,973	0,171

$$d_p = 5,860 \text{ mm}$$

Tabela 5 : Cálculo da esfericidade do grão retido na PENEIRA 13

ALTURA (mm)	BASE 1 (mm)	BASE 2 (mm)	MÉDIA (B1+B2)/2	Área da base e topo (mm <sup>2</sup> )	ÁREA LATERA (mm <sup>2</sup> )	ÁREA TOTAL (mm <sup>2</sup> )
6,9	5,5	4,9	5,2	42,9	114,1	157,0
7,5	5,2	4,9	5,1	40,1	119,0	159,0
7,2	5,5	4,8	5,1	41,7	116,5	158,1
7,2	5,4	4,8	5,1	40,9	116,2	157,0
7,2	5,5	4,9	5,2	42,5	117,6	160,1
7,2	5,4	4,8	5,1	41,3	115,9	157,2
7,7	5,4	4,9	5,2	42,1	125,2	167,2
7,0	5,4	4,9	5,1	41,7	113,2	154,9
6,4	5,4	4,8	5,1	41,7	104,4	146,0
7,5	5,4	4,8	5,1	41,3	120,7	162,0
7,3	5,4	4,9	5,2	42,1	118,7	160,7
6,5	5,5	5,1	5,3	44,1	108,2	152,3
8,2	5,1	4,9	5,0	39,3	128,8	168,1
7,1	5,0	4,9	4,9	38,5	111,2	149,7
7,7	5,3	4,8	5,0	40,1	122,9	163,0
7,4	5,4	4,9	5,1	41,7	119,7	161,4
7,9	5,4	4,8	5,1	41,3	127,2	168,4
6,9	5,4	4,8	5,1	40,9	111,3	152,2
7,9	5,4	4,6	5,0	39,3	124,1	163,4
7,5	5,4	4,8	5,1	41,3	120,7	162,0

Vol. real = 106,3 mm<sup>3</sup>

Área real = 2170,9 mm<sup>2</sup>

Raio real = 2,9 mm

Área Total = 3179,95 mm<sup>2</sup>

esfericidade = 0,68

Tabela 6 : Cálculo da esfericidade do grão retido na PENEIRA 14

ALTURA (mm)	BASE 1 (mm)	BASE 2 (mm)	MÉDIA (B1+B2)/2	Área da base e topo (mm <sup>2</sup> )	ÁREA LATERA (mm <sup>2</sup> )	ÁREA TOTAL (mm <sup>2</sup> )
7,0	5,6	4,9	5,3	43,7	116,0	159,7
6,8	5,8	4,9	5,4	45,4	114,8	160,2
7,4	5,8	5,0	5,4	46,2	126,1	172,3
7,2	5,8	5,0	5,4	45,8	123,0	168,8
8,4	5,4	5,0	5,2	42,9	138,7	181,6
7,5	5,8	4,7	5,2	43,3	124,5	167,8
7,2	5,7	4,8	5,2	43,3	119,6	162,9
7,1	5,9	5,9	5,9	55,1	133,1	188,2
6,6	6,0	4,9	5,5	47,1	113,5	160,6
6,9	5,9	5,0	5,4	46,7	118,1	164,8
6,9	5,8	5,0	5,4	45,8	117,9	163,7
7,1	5,8	5,0	5,4	46,2	121,0	167,2
6,9	5,9	5,0	5,5	47,5	120,1	167,6
6,9	6,0	5,1	5,5	48,4	120,3	168,7
7,0	5,6	5,0	5,3	44,5	117,1	161,6
7,4	5,7	4,9	5,3	44,1	123,2	167,3
7,3	5,7	5,0	5,3	45,0	123,5	168,5
7,2	5,7	4,9	5,3	44,1	119,9	164,0
7,0	5,7	5,0	5,4	45,4	118,2	163,6
7,3	5,6	5,0	5,3	44,1	121,5	165,7

Vol. real = 171,5 mm<sup>3</sup>

Área real = 2985,4 mm<sup>2</sup>

Raio real = 3,4 mm

Área Total = 3344,9 mm<sup>2</sup>

esfericidade = 0,89

Tabela 7 : Cálculo da esfericidade do grão retido na PENEIRA 15

ALTURA (mm)	BASE 1 (mm)	BASE 2 (mm)	MÉDIA (B1+B2)/2	Área da base e topo (mm <sup>2</sup> )	ÁREA LATERAL (mm <sup>2</sup> )	ÁREA TOTAL (mm <sup>2</sup> )
7,1	6,0	5,0	5,5	47,5	123,5	171,6
8,0	6,0	5,0	5,5	47,9	138,9	186,8
7,7	6,1	5,0	5,6	49,3	135,5	184,7
7,3	6,2	5,2	5,7	51,5	132,2	183,7
8,1	5,7	5,1	5,4	46,2	138,0	184,3
7,6	5,8	4,9	5,4	45,4	128,3	173,7
7,8	5,9	5,0	5,4	46,7	134,4	181,1
7,5	6,1	5,0	5,5	48,4	131,6	180,0
7,1	6,0	5,1	5,6	48,8	124,3	173,2
7,1	5,9	4,9	5,4	45,8	121,3	167,1
7,5	6,1	4,9	5,5	47,5	129,6	177,1
7,5	6,1	5,0	5,5	48,4	131,6	180,0
7,4	5,8	5,0	5,4	46,7	127,6	174,2
7,4	6,2	5,1	5,6	50,1	131,3	181,5
7,0	6,2	5,1	5,6	50,1	125,1	175,3
7,5	5,9	5,1	5,5	47,9	130,2	178,1
7,8	6,1	5,3	5,7	51,0	139,7	190,7
7,0	6,1	5,0	5,5	48,4	122,0	170,4
7,0	6,1	4,9	5,5	47,5	121,8	169,3
7,7	5,9	5,2	5,6	48,8	134,9	183,7

Vol. real = 185,4 mm<sup>3</sup>

Área real = 3145,4 mm<sup>2</sup>

Raio real = 3,5 mm

Área Total = 3566,0 mm<sup>2</sup>

esfericidade = 0,88

Tabela 8 : Cálculo da esfericidade do grão retido na PENEIRA 16

ALTURA (mm)	BASE 1 (mm)	BASE 2 (mm)	MÉDIA (B1+B2)/2	Área da base e topo (mm <sup>2</sup> )	ÁREA LATERAL (mm <sup>2</sup> )	ÁREA TOTAL (mm <sup>2</sup> )
7,7	5,3	5,1	5,2	42,5	126,6	169,1
7,2	6,2	5,1	5,7	50,6	128,4	178,9
7,7	5,0	5,3	2,9	13,4	71,2	84,7
7,9	6,6	4,9	5,8	52,4	143,3	195,7
7,2	6,4	4,9	5,6	50,1	128,7	178,8
8,5	6,4	5,2	5,8	53,3	156,5	209,8
7,2	6,3	5,3	5,8	53,8	133,2	187,0
8,6	6,5	5,0	5,7	51,9	156,2	208,2
6,7	6,5	5,4	5,9	55,6	125,2	180,8
6,9	6,3	5,1	5,7	51,5	124,1	175,6
7,1	6,3	5,2	5,8	52,4	129,7	182,1
7,9	6,3	4,8	5,6	49,3	139,9	189,1
7,7	6,4	5,0	5,7	51,9	139,1	191,0
7,3	6,2	5,1	5,7	51,0	130,7	181,8
7,2	6,2	5,3	5,8	52,4	131,5	183,9
7,4	6,3	5,1	5,7	51,5	133,1	184,6
7,3	6,3	5,1	5,7	51,5	131,3	182,8
7,8	6,4	5,0	5,7	51,0	139,7	190,7
7,5	6,4	5,2	5,8	52,8	136,7	189,5
7,0	6,2	5,0	5,6	49,7	123,7	173,4

Vol. real = 207,9 mm<sup>3</sup>

Área real = 3395,0 mm<sup>2</sup>

Raio real = 3,7 mm

Área Total = 3617,5 mm<sup>2</sup>

esfericidade = 0,94

Esfericidade média = 0,85

Tabela 9 : Resumo das propriedades físicas

Densidade real	1204 kg/m <sup>3</sup>
Densidade aparente	782 kg/m <sup>3</sup>
Diâmetro médio da partícula	5,86 10 <sup>-3</sup> m
Esfericidade	0,85

## 4.2 ESTUDO HIDRODINÂMICO

### 4.2.1 PERDA DE CARGA

A perda de carga no secador, em função das vazões de ar e de grãos, foi obtida como um fator de atrito em função do número de Reynolds (ALONSO et alii., 1994; CORRÊA Jr. et alii., 1994). E utilizando a equação de Ergun a porosidade do leito foi calculada em função dos parâmetros operacionais, como mostrado nas tabelas 10 a 12.

Tabela 10 : Perda de carga com o secador vazio

V <sub>a</sub> (m/s)	V <sub>s</sub> (m/s)	ΔP (N/m <sup>2</sup> )	Reynolds x10 <sup>-4</sup>	f	V <sub>a</sub> (m/s)	V <sub>s</sub> (m/s)	ΔP (N/m <sup>2</sup> )	Reynolds x10 <sup>-5</sup>	f
1,88	3,49	58,52	1,95	0,67	13,78	25,63	770,54	1,43	0,16
2,08	3,86	68,27	2,15	0,64	15,66	29,12	926,60	1,62	0,15
2,67	4,96	136,55	2,76	0,78	15,93	29,62	936,36	1,65	0,15
2,83	5,26	107,29	2,93	0,54	15,95	29,66	975,37	1,65	0,16
2,96	5,50	136,55	3,07	0,63	16,68	31,02	1033,90	1,73	0,15
3,92	7,29	156,06	4,06	0,41	16,86	31,35	1063,16	1,75	0,15
6,85	12,74	331,62	7,09	0,29	16,98	31,58	1189,96	1,76	0,17
6,88	12,79	321,87	7,12	0,28	17,69	32,90	1189,96	1,83	0,15
8,25	15,34	341,38	8,54	0,20	18,17	33,79	1209,46	1,88	0,15
8,80	16,36	341,38	9,11	0,18	18,31	34,05	1336,26	1,90	0,16
9,21	17,13	341,38	9,54	0,16	18,52	34,44	1316,76	1,92	0,16
10,10	18,78	429,16	10,50	0,17	18,52	34,44	1336,26	1,92	0,16
10,66	19,82	487,68	11,00	0,17	18,92	35,19	1336,26	1,96	0,15
11,07	20,59	399,90	11,50	0,13	19,03	35,39	1375,28	1,97	0,15
13,51	25,12	741,28	14,00	0,16	19,06	35,45	1433,80	1,97	0,16
13,69	25,46	731,53	14,20	0,16	19,17	35,65	1385,03	1,99	0,15



Tabela 11 : Perda de carga com soja em leito estático

$V_a$ (m/s)	$V_s$ (m/s)	$\Delta P/L_s$ (N/m <sup>3</sup> )	Reynolds Partíc. x10 <sup>-5</sup>	Reynolds Fluido x10 <sup>-4</sup>	$\epsilon$
7,37	13,70	112,49	0,83	0,53	0,82
8,38	15,59	138,45	0,94	0,60	0,85
9,65	17,95	216,33	1,08	0,70	0,86
11,68	21,73	268,25	1,31	0,84	0,83
13,46	25,04	328,82	1,51	0,97	0,84
15,24	28,35	354,78	1,71	1,10	0,83
15,75	29,29	415,35	1,77	1,14	0,83

Porosidade Média do Leito = 0,841

Desvio Padrão = 0,013

Tabela 12 : Perda de carga com descarga de soja

Vazão de Sólido (kg/s)	V <sub>a</sub> (m/s)	V <sub>s</sub> (m/s)	ΔP/L <sub>s</sub> (N/m <sup>3</sup> )	Reynolds Fluid. x10 <sup>-5</sup>	Reynolds Part. x10 <sup>-4</sup>	ε
0,13	14,22	26,46	311,51	1,60	1,03	0,83
0,02	15,24	28,35	216,33	1,71	1,10	0,84
0,18	16,00	29,76	199,02	1,80	1,15	0,91
0,11	16,26	30,24	346,12	1,83	1,17	0,87
0,23	18,29	34,02	199,02	2,06	1,32	0,88
0,19	16,76	31,18	346,12	1,88	1,21	0,90
0,07	15,24	28,35	406,70	1,71	1,10	0,85
0,19	16,26	30,24	363,43	1,83	1,17	0,86
0,21	18,03	33,54	346,12	2,03	1,30	0,88
0,09	14,22	26,46	346,12	1,60	1,03	0,92
0,19	14,99	27,87	173,06	1,68	1,08	0,85
0,18	14,73	27,40	285,55	1,66	1,06	0,91
0,13	12,45	23,15	233,63	1,40	0,90	0,92
0,20	12,95	24,09	173,06	1,46	0,93	0,88
0,17	12,70	23,62	199,02	1,43	0,92	0,87
0,33	10,67	19,84	103,84	1,20	0,77	0,88
0,09	9,40	17,48	181,72	1,06	0,68	0,88
0,13	9,40	17,48	173,06	1,06	0,68	0,89
0,42	19,81	36,85	86,53	2,23	1,43	0,90
0,05	16,51	30,71	346,12	1,86	1,19	0,94
0,08	17,27	32,13	328,82	1,94	1,25	0,90

Porosidade Média do Leito = 0,887

Desvio Padrão = 0,027

A perda de carga ( $\Delta P/L_s$ ) foi então expressa como sendo um fator de atrito ( $f$ ), que foi obtido pela soma do fator de atrito para um tubo liso ( $f_l$ ) e o fator de atrito dos promotores de mistura ( $f_{pm}$ ). O fator de atrito ( $f$ ) pode ser expresso através das seguintes equações:

$$f = f_l + f_{pm}$$

$$f_l = 4f_l \text{ com, } f_l^{-1/2} = 4 \times \log[\text{Re} \times f_l^{1/2}] - 0,60 \text{ (tubo liso)}$$

$$f_{pm} = 2,959 - 0,235 \ln[\text{Re}] \quad \{\text{coef. corr.} = 0,868\}$$

Entretanto uma correlação mais acurada pode ser obtida pela equação empírica:

$$f^{-1/2} = 1,125 \times \log_{10}[Re \times f^{1/2}] - 3,7903 \quad \{ \text{coef. corr.} = 0.904 \}$$

Nos leitos com sólidos estáticos e fluidizados, a correlação das perdas por atrito foi feita utilizando as características dos sólidos, do gás e da expansão do leito (porosidade do leito). Para o presente secador, carregado com soja, utilizou-se a equação de Ergun para verificar esta correlação, determinando a porosidade equivalente do leito ( $\epsilon$ ).

O secador com promotores estáticos anulares de mistura apresentou um perda de carga máxima de  $922 \text{ N/m}^2$  (aprox. 94 mm de coluna de água), quando operando com um leito estático de soja. Entretanto, este valor máximo ainda está situada na faixa de perda de carga dos equipamentos existentes no mercado, tais como os secadores da Kepler Weber.

#### 4.2.2 CARACTERIZAÇÃO DOS ESCOAMENTOS

A caracterização do escoamento foi realizada e as porosidades do leito para cada regime de escoamento estão mostradas na figura 6 (GODOI et alii., 1996 a).

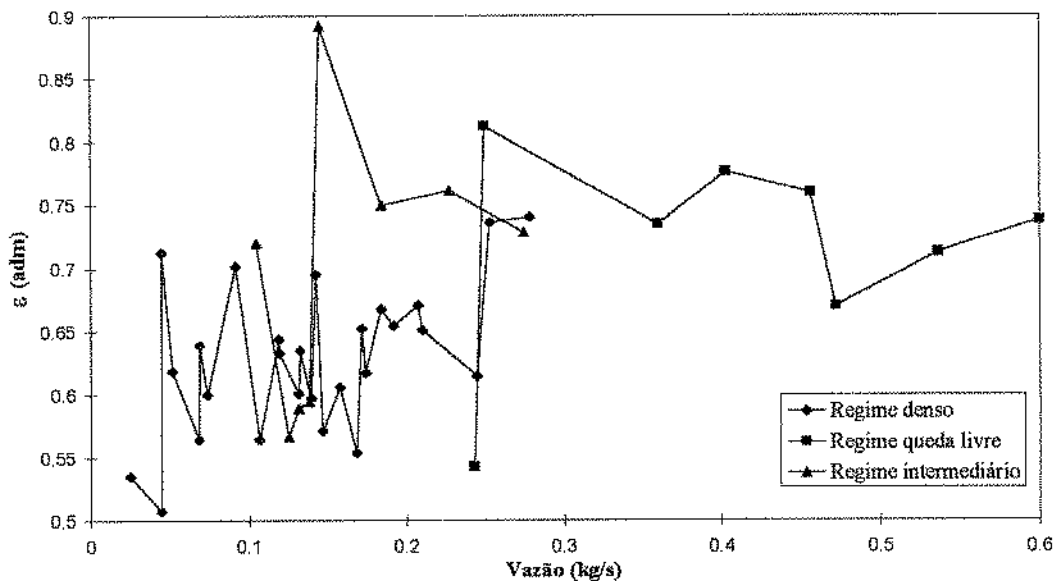


Figura 6: Porosidade do leito para cada regime de escoamento

Para o primeiro regime, denso, foi observado um escoamento denso e lento das partículas, com uma variação de porosidade do leito de 0,50 a 0,74, e um valor médio de 0,63. A vazão mássica de grãos variou de 0,025 a 0,28 kg/s. Neste regime foi observado um escoamento heterogêneo com diferentes velocidades de partícula, indicando uma possível segregação dos grãos.

O segundo regime, intermediário, apresentou um escoamento denso e lento das partículas no interior da coluna logo abaixo do silo de alimentação, e um escoamento acelerado e menos denso próximo a seção de descarga dos grãos. A porosidade do leito variou entre 0,54 e 0,81, com um valor médio de 0,70, e uma vazão mássica de grãos entre 0,24 e 0,60 kg/s. Quando foram testadas vazões mássicas maiores, este regime várias vezes mostrou-se similar ao terceiro regime, apresentando um escoamento mais homogêneo.

Um escoamento acelerado com uma baixa fração volumétrica de sólidos foi observado para o terceiro regime de escoamento, em queda livre. A porosidade do leito variou de 0,56 a 0,89, com um valor médio de 0,70, e uma vazão mássica de grãos entre 0,10 e 0,28 kg/s.

Comparando os três regimes de escoamento, a semelhança entre os valores da porosidade do leito foi notável, diferindo consideravelmente do proposto por GYENIS et alii (1994).

#### **4.2.3 TEMPO DE RESIDÊNCIA**

Para a determinação do tempo de residência a função distribuição do tempo de residência,  $E(t)$ , foi avaliada para os regimes de escoamento denso e em queda livre, e está mostrada nas figuras 7 e 8 (GODOI et alii., 1996 a).

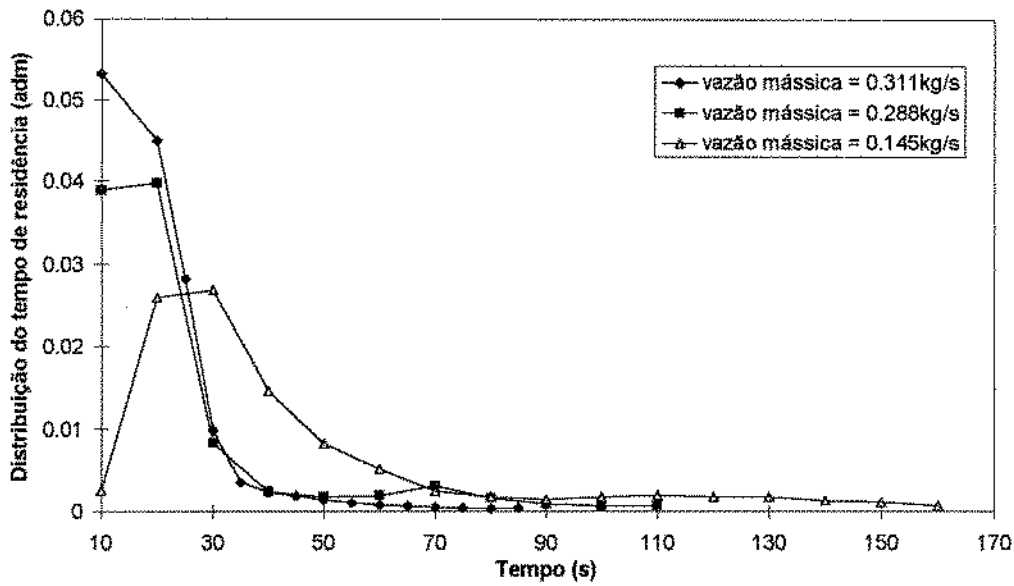


Figura 7: Distribuição do tempo de residência para regime de escoamento denso

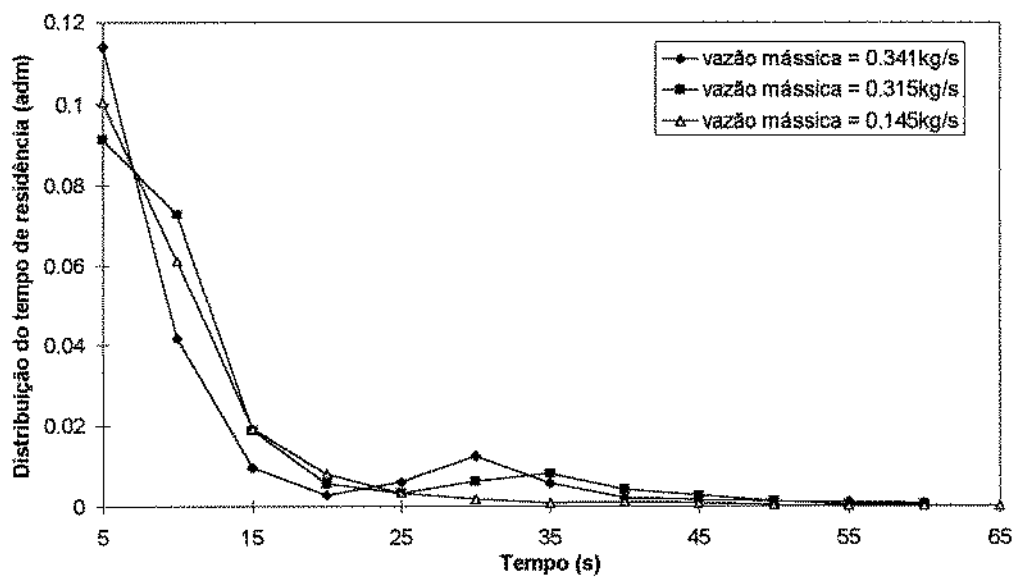


Figura 8: Distribuição do tempo de residência para regime de escoamento em queda livre

Os tempos de residência médios foram calculados para os regimes de escoamento denso e em queda livre, e estão mostrados como uma função da vazão mássica de grãos na figura 9.

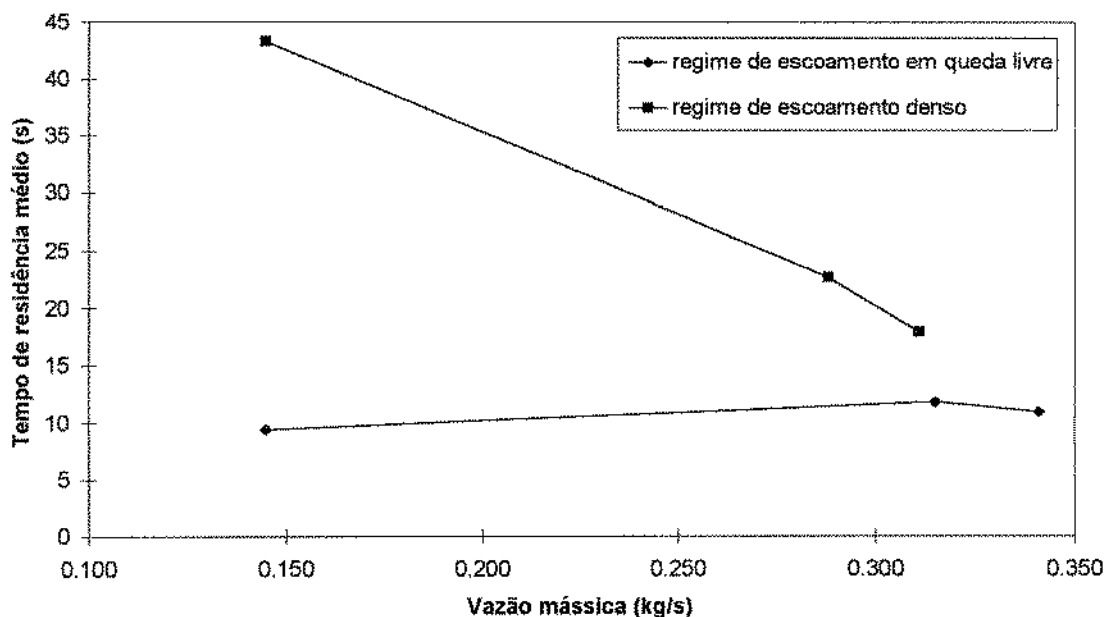


Figura 9: Tempo de residência médio em função da vazão mássica de grãos

Foram obtidas equações empíricas descrevendo o tempo de residência médio das partículas através do secador com promotores anulares estáticos de mistura, em função da vazão mássica para os regimes de escoamento denso (equação 43) e em queda livre (equação 44), que são mostradas abaixo.

$$t_m = -150.072G + 65.1278 \quad \{\text{coef. corr.} = 0.9976\} \quad (43)$$

$$t_m = 9.8226G + 8.0567 \quad \{\text{coef. corr.} = 0.7946\} \quad (44)$$

Onde:  $t_m$  = tempo de residência médio, e  $G$  = vazão mássica

Pode-se observar que o tempo de residência médio foi praticamente constante para o regime de escoamento em queda livre (terceiro regime), em torno de 10 segundos, em toda a faixa de vazões mássicas estudadas. O mesmo não se deu para o regime de escoamento denso (primeiro regime) que apresentou, como esperado, um tempo de residência médio decrescente com o aumento da vazão mássica, entre 17 e 43 segundos.

### 4.3 TRANSFERÊNCIA DE CALOR

Os perfis longitudinais de temperaturas obtidos no interior do secador estão mostrados na figura 10. A seção de descarga dos grãos está representada pela seção 1 e a seção de alimentação pela seção 5 (GODOI et alii., 1996 b).

Como as diferenças de temperatura em cada seção no sentido radial foram desprezíveis, não foi possível levantar um perfil radial de temperatura. Além disso, pela figura 10, pode-se notar que no regime de escoamento em queda livre, as temperaturas no sentido axial foram consideravelmente diferentes, enquanto que para o regime de escoamento denso foram praticamente constantes.

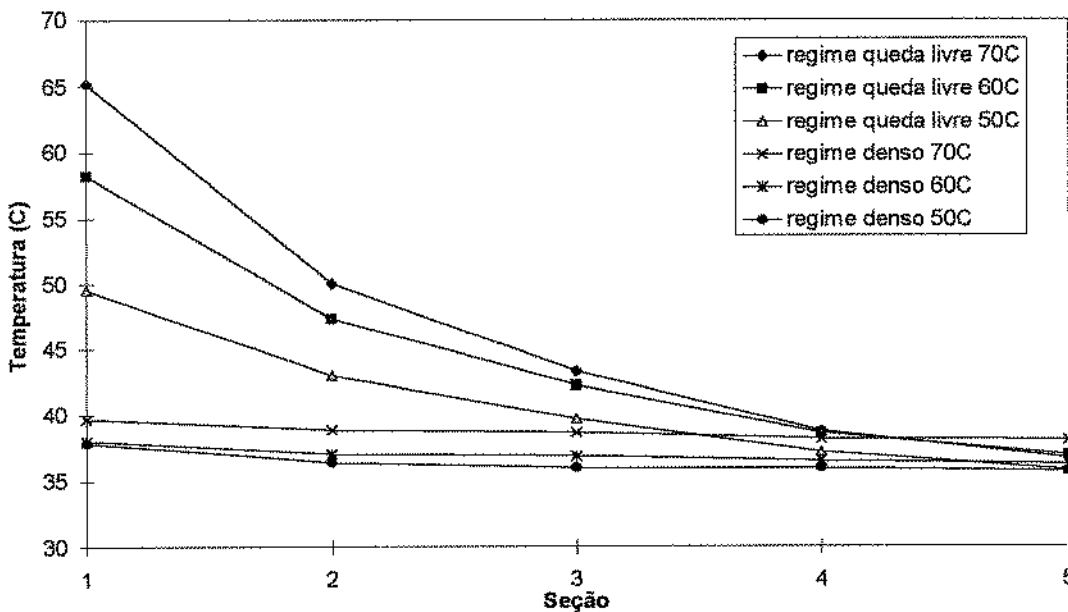


Figura 10 : Perfil de temperatura longitudinal no secador

O secador foi tratado também como um trocador de calor e assim foi calculado um coeficiente global de transferência de calor (U). Os valores de U médio em função da temperatura para cada regime estão mostrados na figura 11.

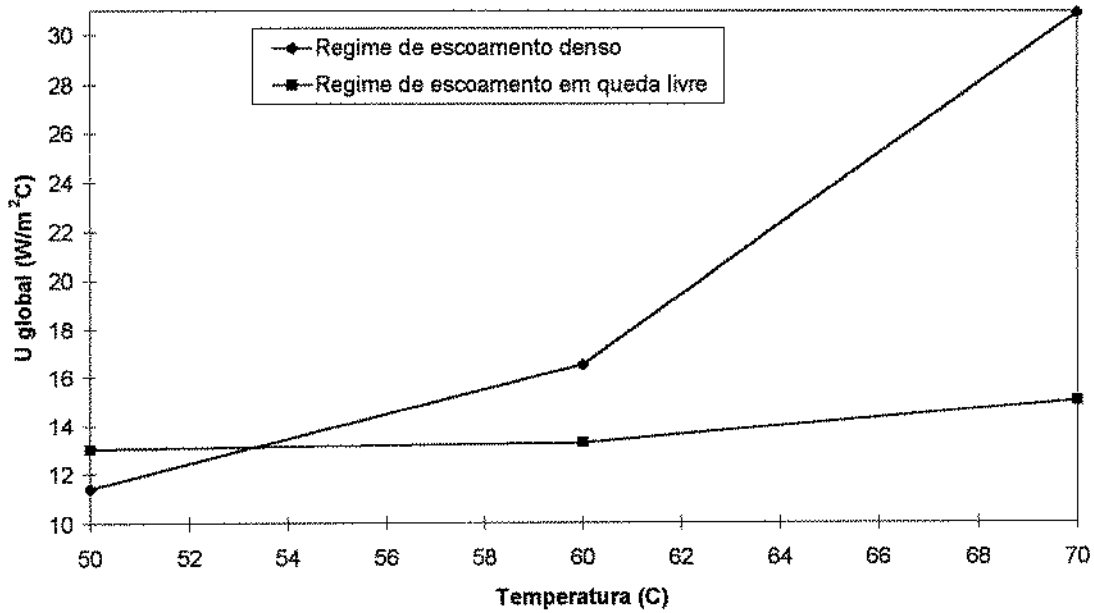


Figura 11 : Coeficiente de transferência de calor global médio em função da temperatura

Os números adimensionais, tais como Nusselt, Reynolds e Prandtl, foram calculados para a obtenção de equações empíricas para a transferência de calor no secador.

O número de Reynolds foi calculado para o fluido considerando a velocidade do fluido, e também considerando a velocidade do fluido somada com a velocidade da partícula, e para as partículas. Os numeros adimensionais calculados estão mostrados nas tabelas 13 a 18.



Tabela 13 : Adimensionais para escoamento denso (Re para partículas)

Temperat. (°C)	Veloc. do ar (m/s)	Vaz. grãos (kg/s)	Re <sub>p</sub> (adim.)	Nu (adim.) x10 <sup>-3</sup>	Pr (adim.)
50	0,7	0,16	450	1,48	0,71
50	0,7	0,21	449	2,11	0,71
50	1,0	0,16	642	1,70	0,71
50	1,0	0,21	652	1,83	0,71
60	0,7	0,16	441	2,99	0,71
60	0,7	0,21	443	1,22	0,71
60	1,0	0,16	628	2,98	0,71
60	1,0	0,21	628	2,66	0,71
70	0,7	0,16	446	2,16	0,71
70	0,7	0,21	447	3,43	0,71
70	1,0	0,16	629	2,98	0,71
70	1,0	0,21	629	3,54	0,71

Tabela 14 : Adimensionais para escoamento em queda livre (Re para partículas)

Temperat (°C)	Veloc. do ar (m/s)	Vaz. grãos (kg/s)	seção	Re <sub>p</sub> (adim.)	Nu (adim.) x10 <sup>-3</sup>	Pr (adim.)
50	0,7	0,21	1	448	3,32	0,71
50	0,7	0,21	2	456	2,75	0,71
50	0,7	0,21	3	459	4,47	0,71
50	0,7	0,16	1	448	3,90	0,71
50	0,7	0,16	2	456	3,42	0,71
50	0,7	0,16	3	460	3,03	0,71
50	1,0	0,16	1	633	3,53	0,71
50	1,0	0,16	2	644	2,51	0,71
50	1,0	0,16	3	644	3,82	0,71
50	1,0	0,21	1	636	4,15	0,71
50	1,0	0,21	2	646	2,92	0,71
50	1,0	0,21	3	651	3,91	0,71
60	0,7	0,21	1	437	3,05	0,71
60	0,7	0,21	2	447	2,68	0,71
60	0,7	0,21	3	452	4,08	0,71
60	0,7	0,16	1	438	2,89	0,71
60	0,7	0,16	2	449	2,66	0,71
60	0,7	0,16	3	455	3,94	0,71
60	1,0	0,16	1	624	2,99	0,71
60	1,0	0,16	2	640	2,05	0,71
60	1,0	0,16	3	650	2,25	0,71
60	1,0	0,21	1	624	4,13	0,71
60	1,0	0,21	2	639	3,83	0,71
60	1,0	0,21	3	648	6,21	0,71
70	0,7	0,16	1	436	2,97	0,71
70	0,7	0,16	2	452	2,89	0,71
70	0,7	0,16	3	460	4,26	0,71
70	0,7	0,21	1	436	3,51	0,71
70	0,7	0,21	2	451	3,55	0,71
70	0,7	0,21	3	450	6,09	0,71
70	1,0	0,21	1	604	3,84	0,71
70	1,0	0,21	2	623	3,13	0,71
70	1,0	0,21	3	634	5,02	0,71
70	1,0	0,16	1	607	3,14	0,71
70	1,0	0,16	2	627	2,07	0,71
70	1,0	0,16	3	639	2,27	0,71

Tabela 15 : Adimensionais para escoamento denso (Re para fluido)

Temperat. (°C)	Veloc. do ar (m/s)	Vaz. grãos (kg/s)	Re <sub>n</sub> (adim.) x10 <sup>-4</sup>	Nu (adim.) x10 <sup>-3</sup>	Pr (adim.)
50	0,7	0,16	1,15	1,48	0,71
50	0,7	0,21	1,15	2,11	0,71
50	1,0	0,16	1,64	1,70	0,71
50	1,0	0,21	1,67	1,83	0,71
60	0,7	0,16	1,13	2,99	0,71
60	0,7	0,21	1,13	1,22	0,71
60	1,0	0,16	1,61	2,98	0,71
60	1,0	0,21	1,61	2,66	0,71
70	0,7	0,16	1,14	2,16	0,71
70	0,7	0,21	1,14	3,43	0,71
70	1,0	0,16	1,61	2,98	0,71
70	1,0	0,21	1,61	3,54	0,71

Tabela 16 : Adimensionais para escoamento em queda livre (Re para fluido)

Temperat (°C)	Veloc. do ar (m/s)	Vaz. grãos (kg/s)	seção	$Re_n$ (adim.) $\times 10^{-4}$	Nu (adim.) $\times 10^{-3}$	Pr (adim.)
50	0,7	0,21	1	1,15	3,32	0,71
50	0,7	0,21	2	1,17	2,75	0,71
50	0,7	0,21	3	1,18	4,47	0,71
50	0,7	0,16	1	1,15	3,90	0,71
50	0,7	0,16	2	1,17	3,42	0,71
50	0,7	0,16	3	1,18	3,03	0,71
50	1,0	0,16	1	1,62	3,53	0,71
50	1,0	0,16	2	1,65	2,51	0,71
50	1,0	0,16	3	1,65	3,82	0,71
50	1,0	0,21	1	1,63	4,15	0,71
50	1,0	0,21	2	1,65	2,92	0,71
50	1,0	0,21	3	1,67	3,91	0,71
60	0,7	0,21	1	1,12	3,05	0,71
60	0,7	0,21	2	1,14	2,68	0,71
60	0,7	0,21	3	1,16	4,08	0,71
60	0,7	0,16	1	1,12	2,89	0,71
60	0,7	0,16	2	1,15	2,66	0,71
60	0,7	0,16	3	1,16	3,94	0,71
60	1,0	0,16	1	1,60	2,99	0,71
60	1,0	0,16	2	1,64	2,05	0,71
60	1,0	0,16	3	1,66	2,25	0,71
60	1,0	0,21	1	1,60	4,13	0,71
60	1,0	0,21	2	1,64	3,83	0,71
60	1,0	0,21	3	1,66	6,21	0,71
70	0,7	0,16	1	1,12	2,97	0,71
70	0,7	0,16	2	1,16	2,89	0,71
70	0,7	0,16	3	1,18	4,26	0,71
70	0,7	0,21	1	1,12	3,51	0,71
70	0,7	0,21	2	1,16	3,55	0,71
70	0,7	0,21	3	1,15	6,09	0,71
70	1,0	0,21	1	1,55	3,84	0,71
70	1,0	0,21	2	1,60	3,13	0,71
70	1,0	0,21	3	1,62	5,02	0,71
70	1,0	0,16	1	1,55	3,14	0,71
70	1,0	0,16	2	1,61	2,07	0,71
70	1,0	0,16	3	1,63	2,27	0,71

Tabela 17 : Adimensionais para escoamento denso (Re com vel.partícula + vel.fluido)

Temperat. (°C)	Veloc. do ar (m/s)	Vaz. grãos (kg/s)	Re (adim.) x10 <sup>-5</sup>	Nu (adim.) x10 <sup>-3</sup>	Pr (adim.)
50	0,7	0,16	1,97	1,48	0,71
50	0,7	0,21	2,55	2,11	0,71
50	1,0	0,16	2,02	1,70	0,71
50	1,0	0,21	2,64	1,83	0,71
60	0,7	0,16	2,04	2,99	0,71
60	0,7	0,21	2,51	1,22	0,71
60	1,0	0,16	2,01	2,98	0,71
60	1,0	0,21	2,54	2,66	0,71
70	0,7	0,16	2,20	2,16	0,71
70	0,7	0,21	2,67	3,43	0,71
70	1,0	0,16	2,27	2,98	0,71
70	1,0	0,21	2,67	3,54	0,71

Tabela 18 : Adimensionais para escoamento em queda livre (Re com vel.partícula + vel.fluido)

Temperat (°C)	Veloc. do ar (m/s)	Vaz. grãos (kg/s)	seção	Re (adim.) $\times 10^{-5}$	Nu (adim.) $10^{-3}$	Pr (adim.)
50	0,7	0,21	1	2,65	3,32	0,71
50	0,7	0,21	2	2,69	2,75	0,71
50	0,7	0,21	3	2,72	4,47	0,71
50	0,7	0,16	1	2,13	3,90	0,71
50	0,7	0,16	2	2,17	3,42	0,71
50	0,7	0,16	3	2,19	3,03	0,71
50	1,0	0,16	1	1,99	3,53	0,71
50	1,0	0,16	2	2,02	2,51	0,71
50	1,0	0,16	3	2,02	3,82	0,71
50	1,0	0,21	1	2,92	4,15	0,71
50	1,0	0,21	2	2,96	2,92	0,71
50	1,0	0,21	3	2,98	3,91	0,71
60	0,7	0,21	1	2,48	3,05	0,71
60	0,7	0,21	2	2,53	2,68	0,71
60	0,7	0,21	3	2,56	4,08	0,71
60	0,7	0,16	1	1,85	2,89	0,71
60	0,7	0,16	2	1,89	2,66	0,71
60	0,7	0,16	3	1,91	3,94	0,71
60	1,0	0,16	1	1,73	2,99	0,71
60	1,0	0,16	2	1,77	2,05	0,71
60	1,0	0,16	3	1,80	2,25	0,71
60	1,0	0,21	1	2,44	4,13	0,71
60	1,0	0,21	2	2,50	3,83	0,71
60	1,0	0,21	3	2,54	6,21	0,71
70	0,7	0,16	1	1,91	2,97	0,71
70	0,7	0,16	2	1,98	2,89	0,71
70	0,7	0,16	3	2,02	4,26	0,71
70	0,7	0,21	1	2,67	3,51	0,71
70	0,7	0,21	3	2,76	6,09	0,71
70	0,7	0,21	2	2,77	3,55	0,71
70	1,0	0,21	1	2,33	3,84	0,71
70	1,0	0,21	2	2,41	3,13	0,71
70	1,0	0,21	3	2,45	5,02	0,71
70	1,0	0,16	1	2,08	3,17	0,71
70	1,0	0,16	2	2,15	2,07	0,71
70	1,0	0,16	3	2,19	2,27	0,71

O logaritmo do número de Nusselt está graficado em função do logaritmo do número de Reynolds, calculado com a soma das velocidades da partícula e do fluido, para cada um dos regimes de escoamento nas figuras 12 e 13.

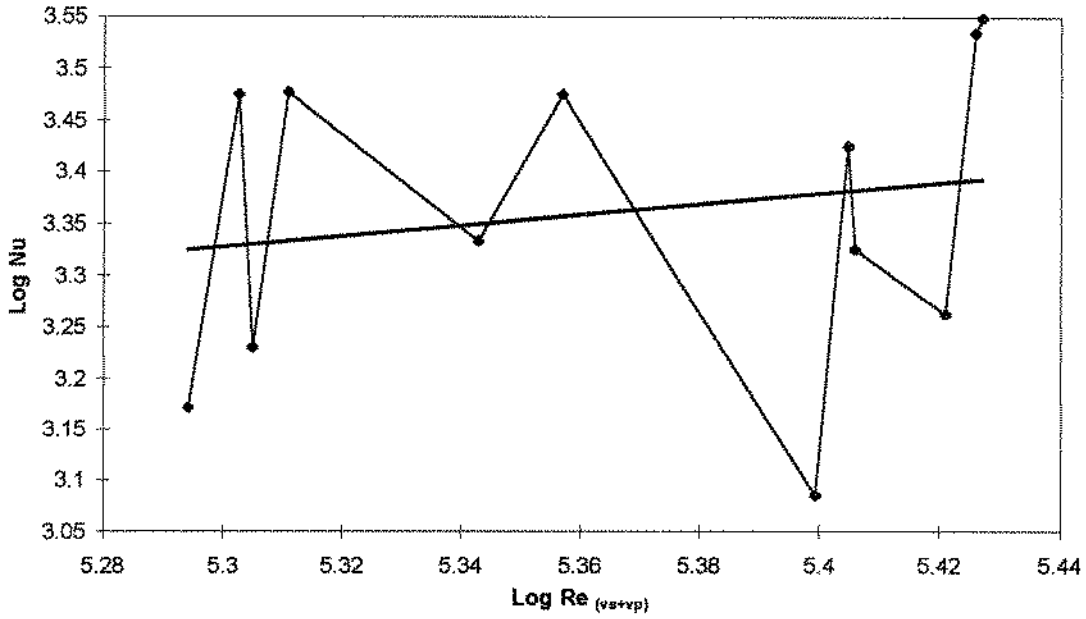


Figura 12 : Log de Nusselt x Log de Reynolds para regime de escoamento denso

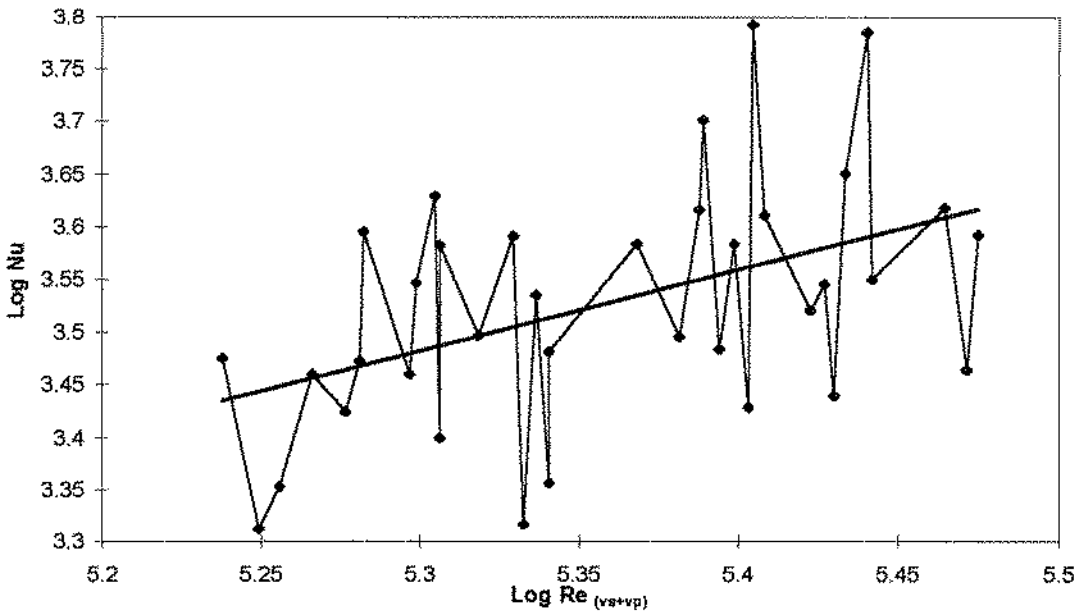


Figura 13 : Log de Nusselt x Log de Reynolds para regime de escoamento em queda livre

Com isso foi possível obter equações empíricas de transferência de calor para o secador com promotores estáticos anulares de mistura, para cada regime de operação, na forma de Nusselt em função de Reynolds, já que o número de Prandtl foi praticamente constante nas condições do experimento, conforme mostrado abaixo:

$$Nu = 4.1077 \cdot Re^{0.5121} \quad (45)$$

escoamento denso

$$Nu = \frac{Re^{0.7688}}{3.9165} \quad (46)$$

escoamento em queda livre

Estes resultados indicam que para ambos os regimes de escoamento, denso e em queda livre, as correlações de transferência de calor no secador com promotores de mistura anulares estáticos que apresentaram um melhor ajuste, foram aquelas em que considerou-se as velocidades do ar e dos grãos (leitos sólidos deslizantes) no cálculo do número de Reynolds.

#### 4.4 TRANSFERÊNCIA DE MASSA

As curvas de secagem obtidas em cada corrida experimental, as calculadas através do modelo difusional de Fick e as calculadas pelo modelo de Page são mostradas nas figuras de 14 a 37, como um adimensional de umidade, calculado pela equação 31, em função do tempo.



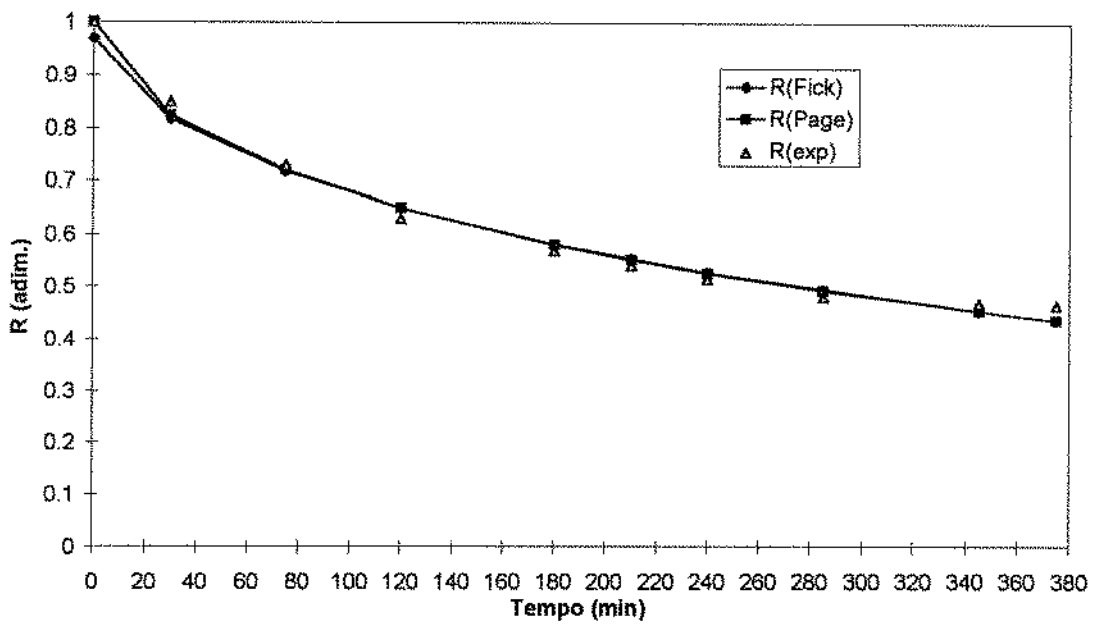


Figura 14 : Curvas de secagem obtidas para escoamento denso, a 60°C, com velocidade do ar de 0,7 m/s e vazão de grãos de 160 g/s.

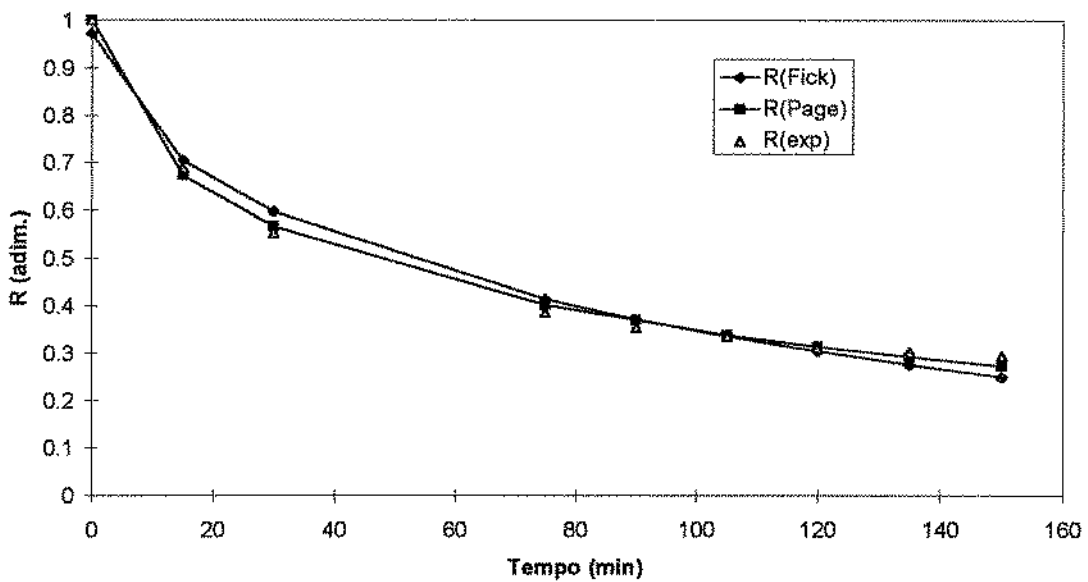


Figura 15 : Curvas de secagem obtidas para escoamento denso, a 60°C, com velocidade do ar de 0,7 m/s e vazão de grãos de 210 g/s.

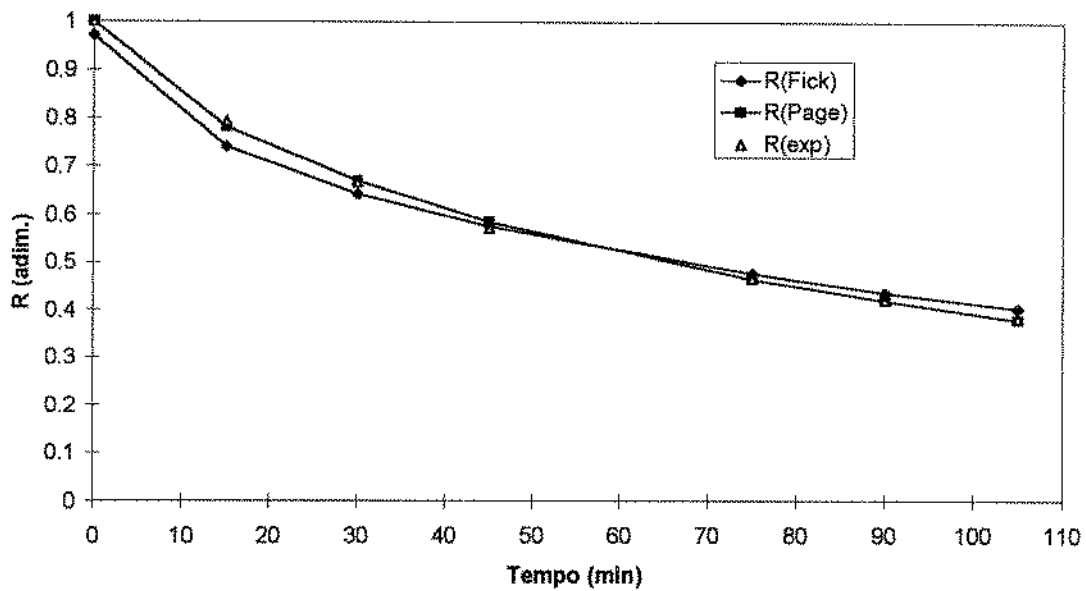


Figura 16 : Curvas de secagem obtidas para escoamento denso, a  $60^{\circ}\text{C}$ , com velocidade do ar de  $1\text{ m/s}$  e vazão de grãos de  $160\text{ g/s}$ .

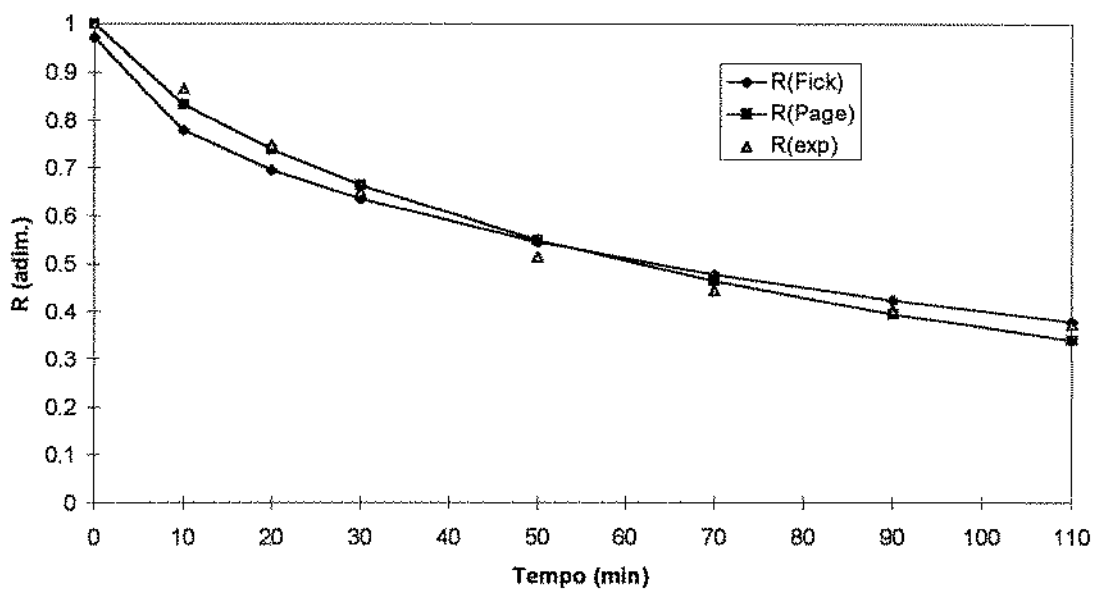


Figura 17 : Curvas de secagem obtidas para escoamento denso, a  $60^{\circ}\text{C}$ , com velocidade do ar de  $1\text{ m/s}$  e vazão de grãos de  $210\text{ g/s}$ .

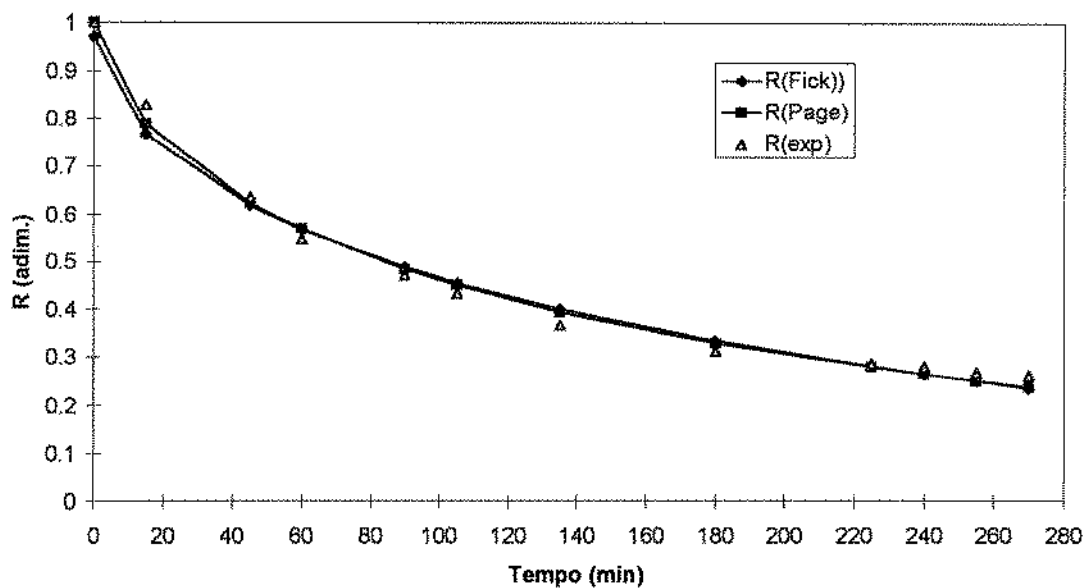


Figura 18 : Curvas de secagem obtidas para escoamento denso, a 50°C, com velocidade do ar de 0,7 m/s e vazão de grãos de 160 g/s.

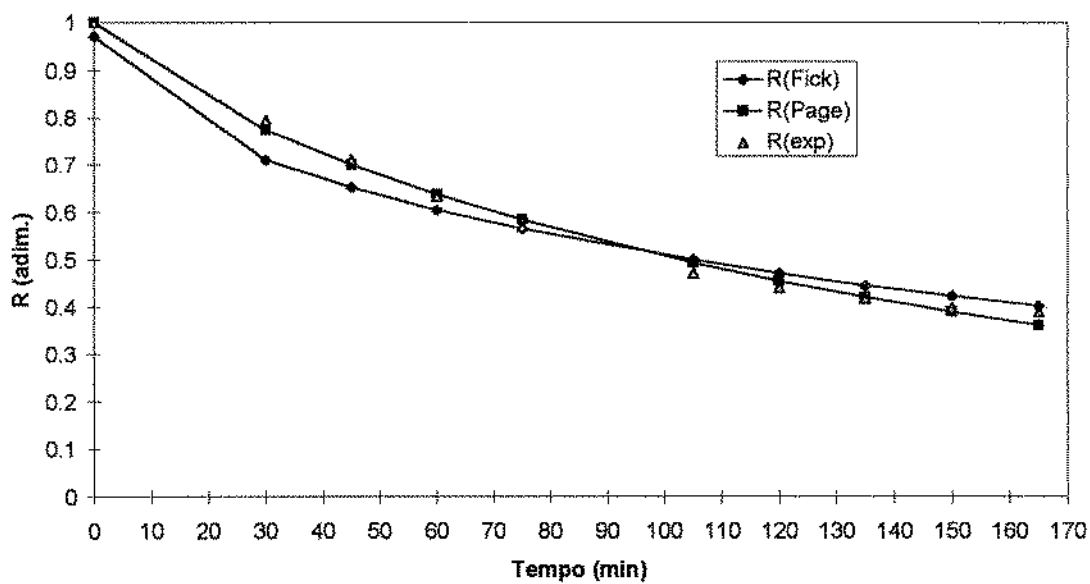


Figura 19 : Curvas de secagem obtidas para escoamento denso, a 50°C, com velocidade do ar de 0,7 m/s e vazão de grãos de 210 g/s.

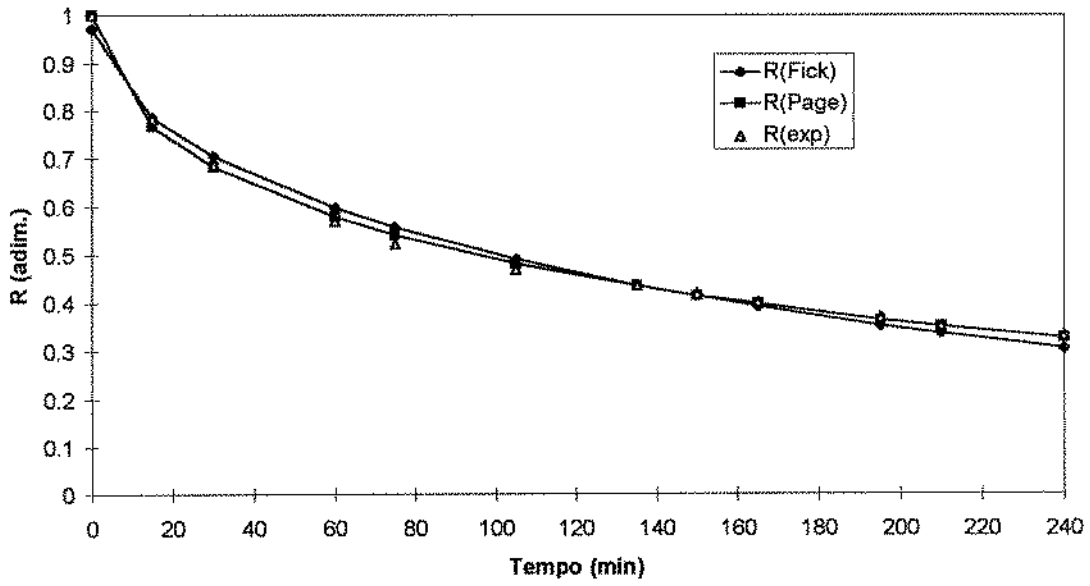


Figura 20 : Curvas de secagem obtidas para escoamento denso, a 50°C, com velocidade do ar de 1 m/s e vazão de grãos de 160 g/s.

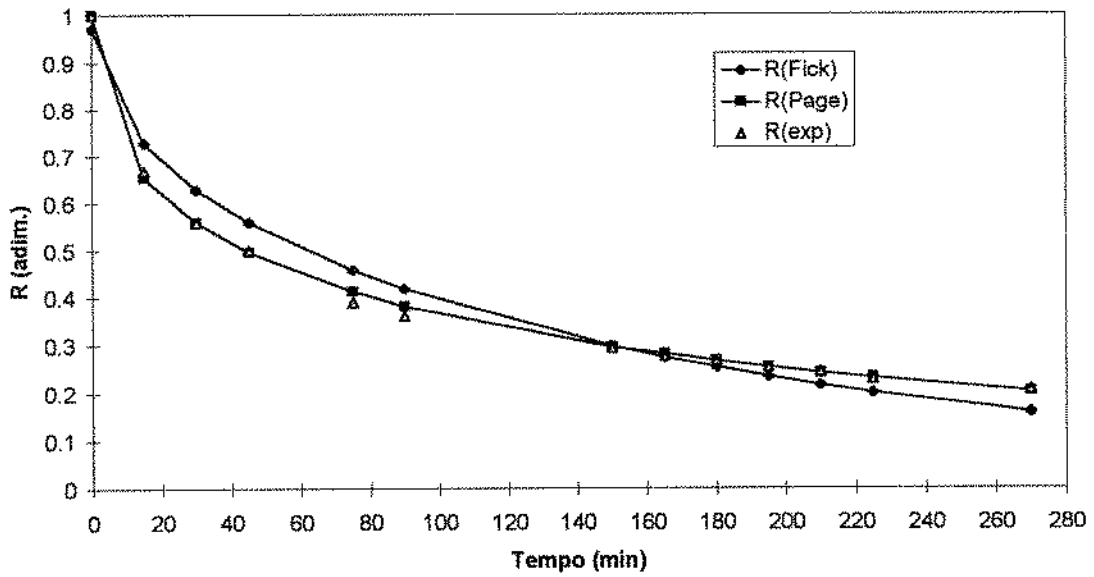


Figura 21 : Curvas de secagem obtidas para escoamento denso, a 50°C, com velocidade do ar de 1 m/s e vazão de grãos de 210 g/s.

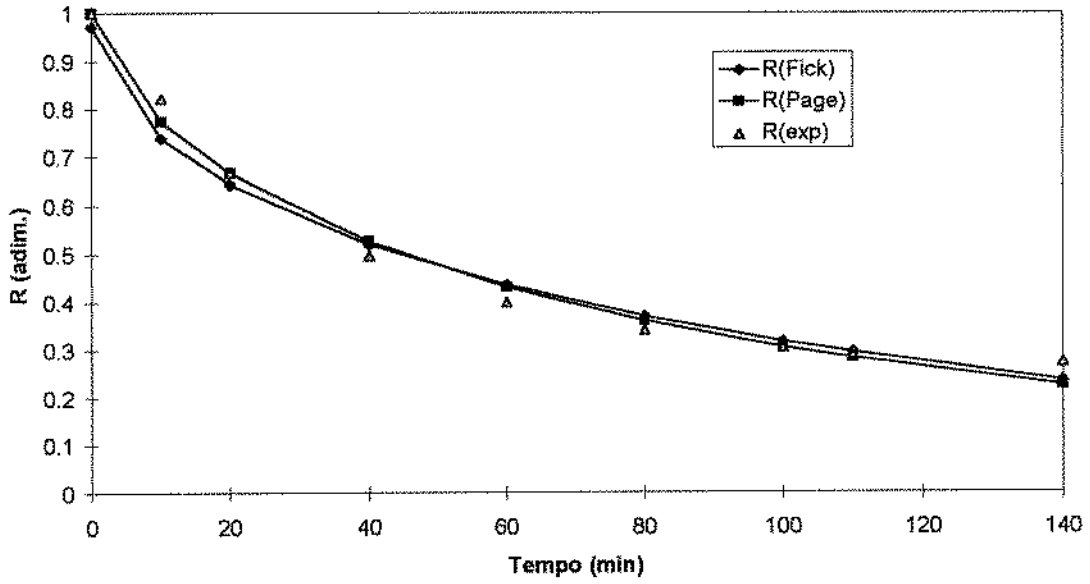


Figura 22 : Curvas de secagem obtidas para escoamento em queda livre, a 50°C, com velocidade do ar de 0,7 m/s e vazão de grãos de 210 g/s.

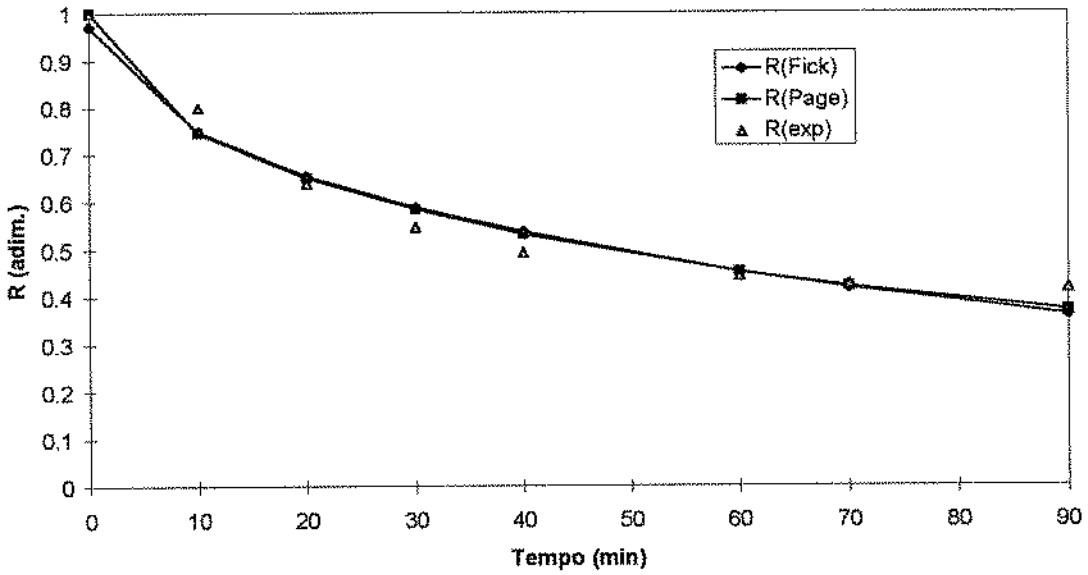


Figura 23 : Curvas de secagem obtidas para escoamento em queda livre, a 50°C, com velocidade do ar de 0,7 m/s e vazão de grãos de 160 g/s.

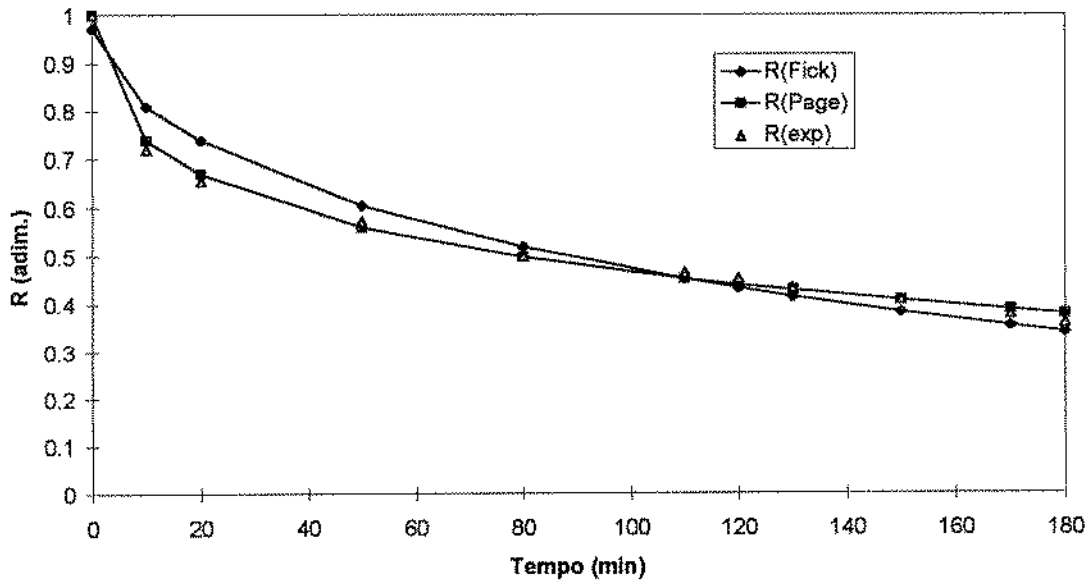


Figura 24 : Curvas de secagem obtidas para escoamento em queda livre, a 50°C, com velocidade do ar de 1 m/s e vazão de grãos de 160 g/s.

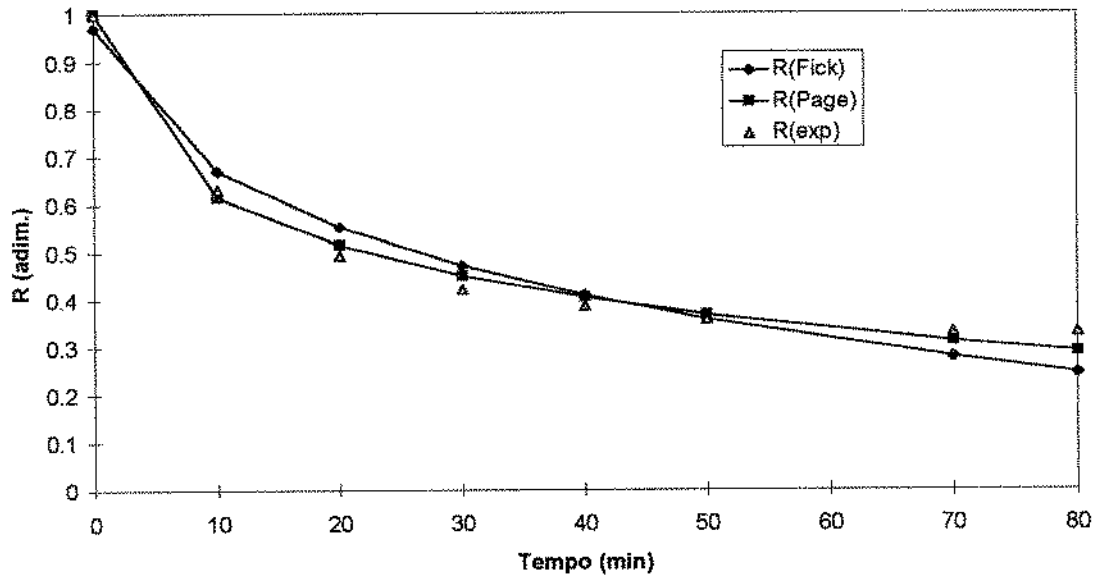


Figura 25 : Curvas de secagem obtidas para escoamento em queda livre, a 50°C, com velocidade do ar de 1 m/s e vazão de grãos de 210 g/s.

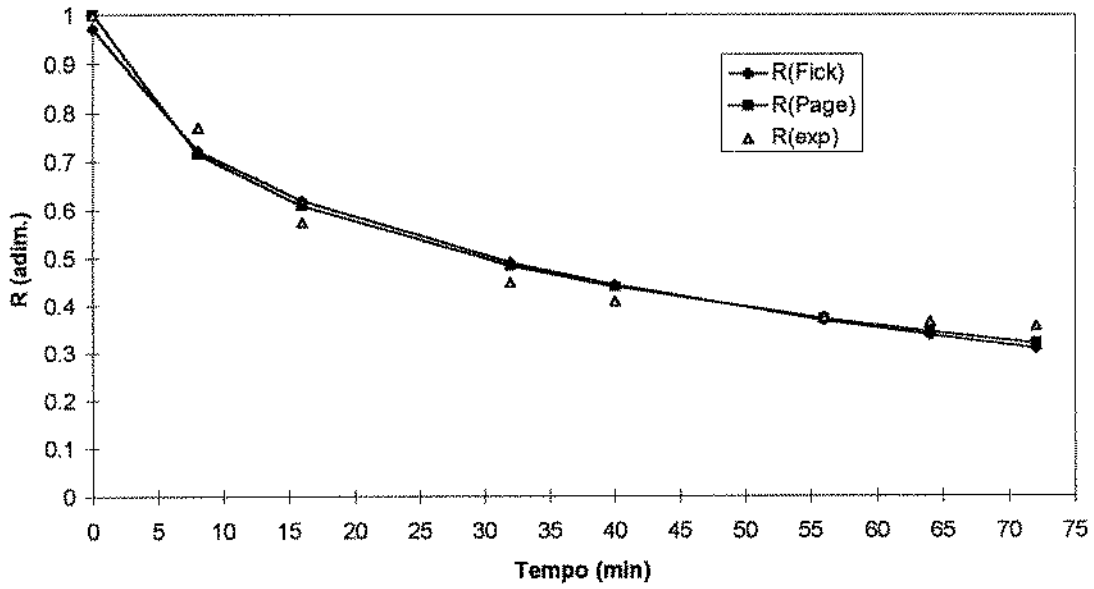


Figura 26 : Curvas de secagem obtidas para escoamento em queda livre, a 60°C, com velocidade do ar de 0,7 m/s e vazão de grãos de 210 g/s.

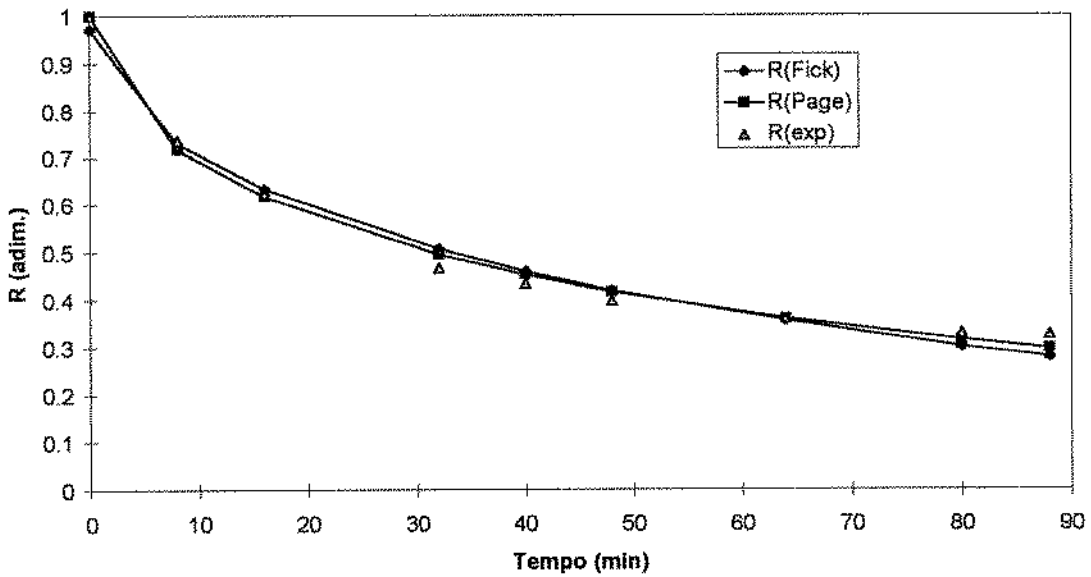


Figura 27 : Curvas de secagem obtidas para escoamento em queda livre, a 60°C, com velocidade do ar de 0,7 m/s e vazão de grãos de 160 g/s.

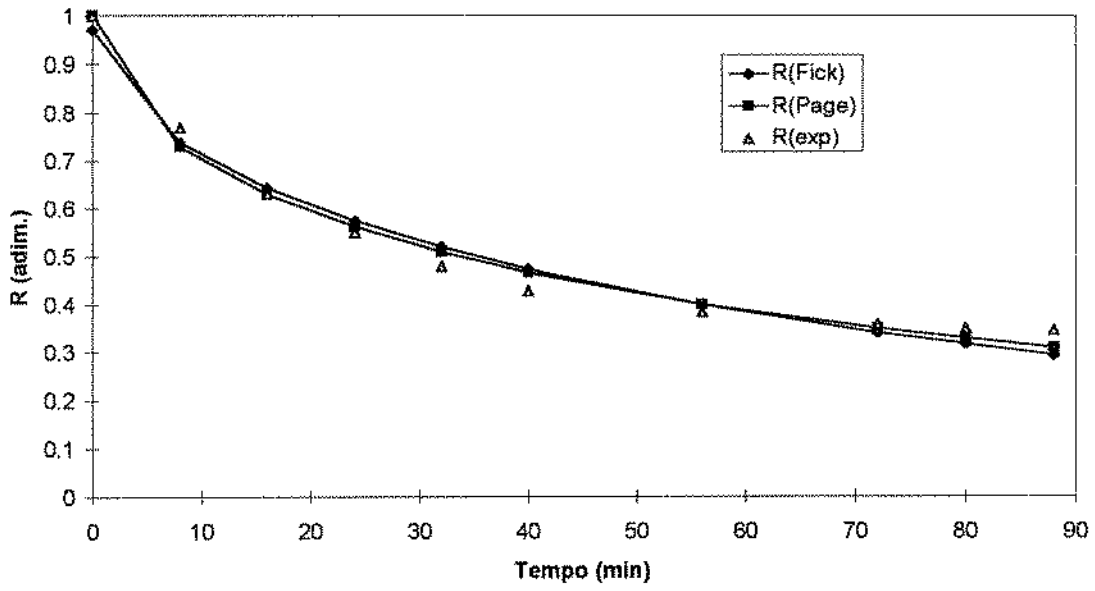


Figura 28 : Curvas de secagem obtidas para escoamento em queda livre, a 60°C, com velocidade do ar de 1 m/s e vazão de grãos de 160 g/s.

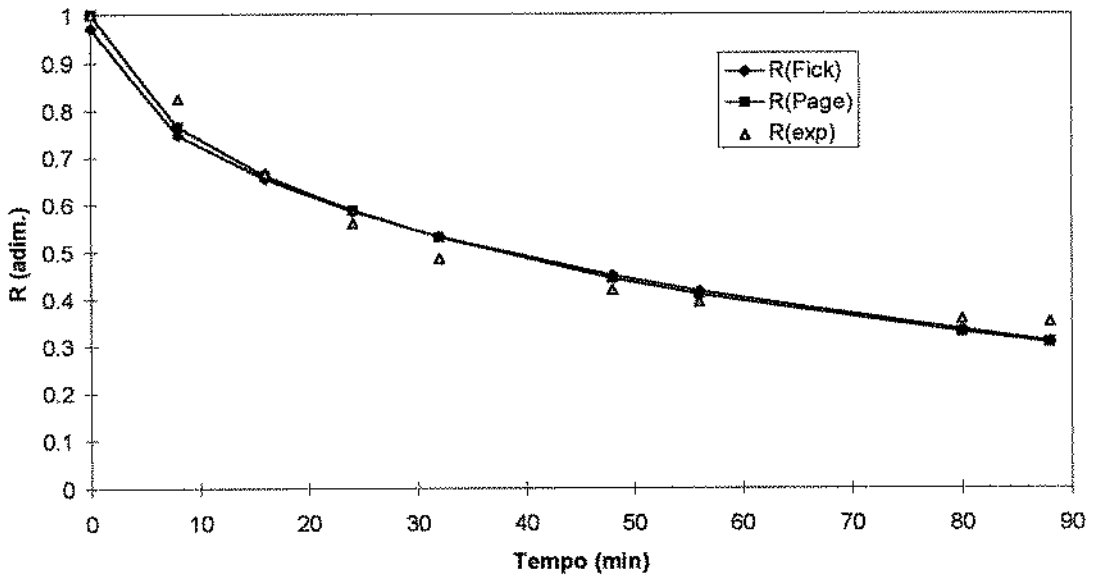


Figura 29 : Curvas de secagem obtidas para escoamento em queda livre, a 60°C, com velocidade do ar de 1 m/s e vazão de grãos de 210 g/s.



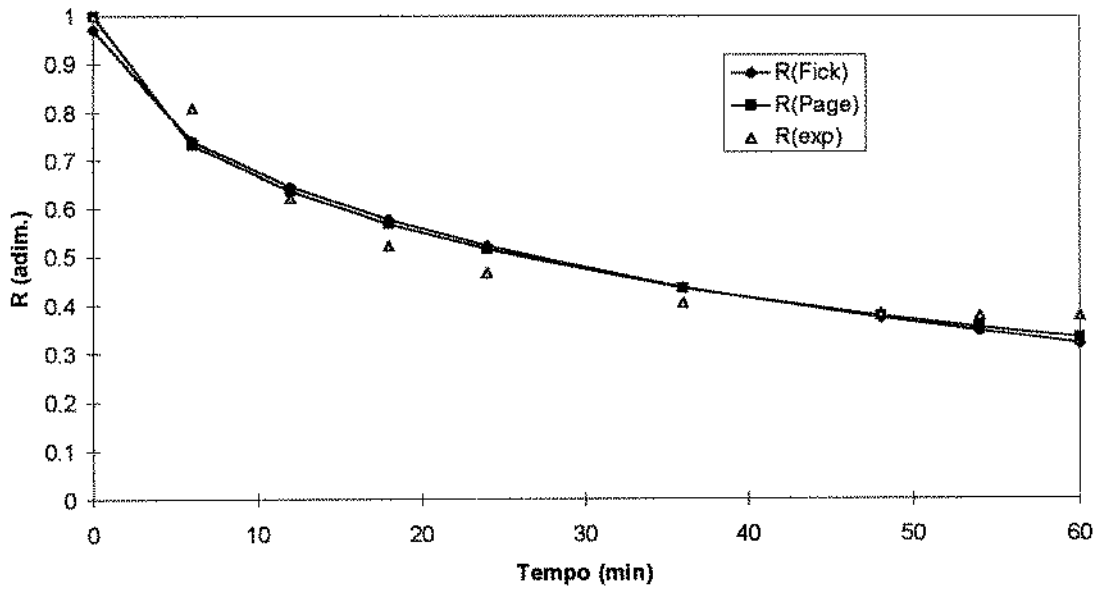


Figura 30 : Curvas de secagem obtidas para escoamento em queda livre, a 70°C, com velocidade do ar de 1 m/s e vazão de grãos de 210 g/s.

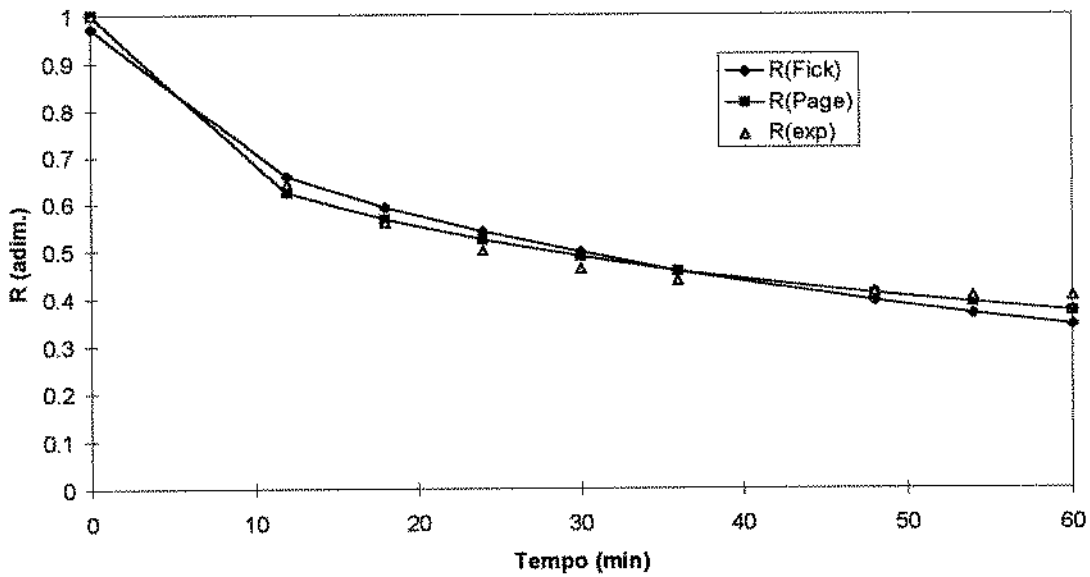


Figura 31 : Curvas de secagem obtidas para escoamento em queda livre, a 70°C, com velocidade do ar de 1 m/s e vazão de grãos de 160 g/s.

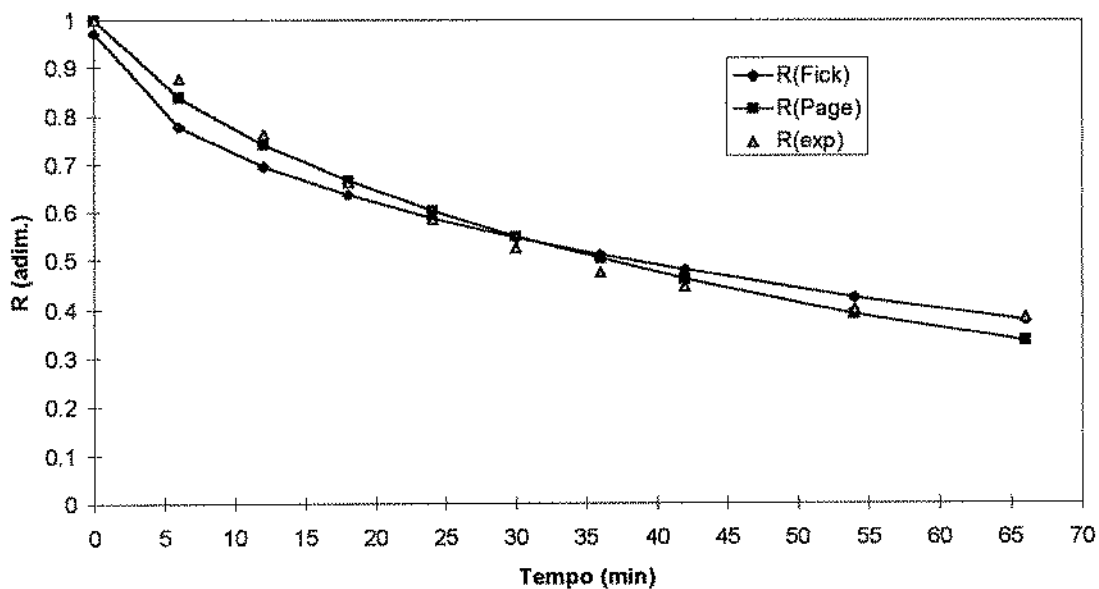


Figura 32 : Curvas de secagem obtidas para escoamento em queda livre, a 70°C, com velocidade do ar de 0,7 m/s e vazão de grãos de 160 g/s.

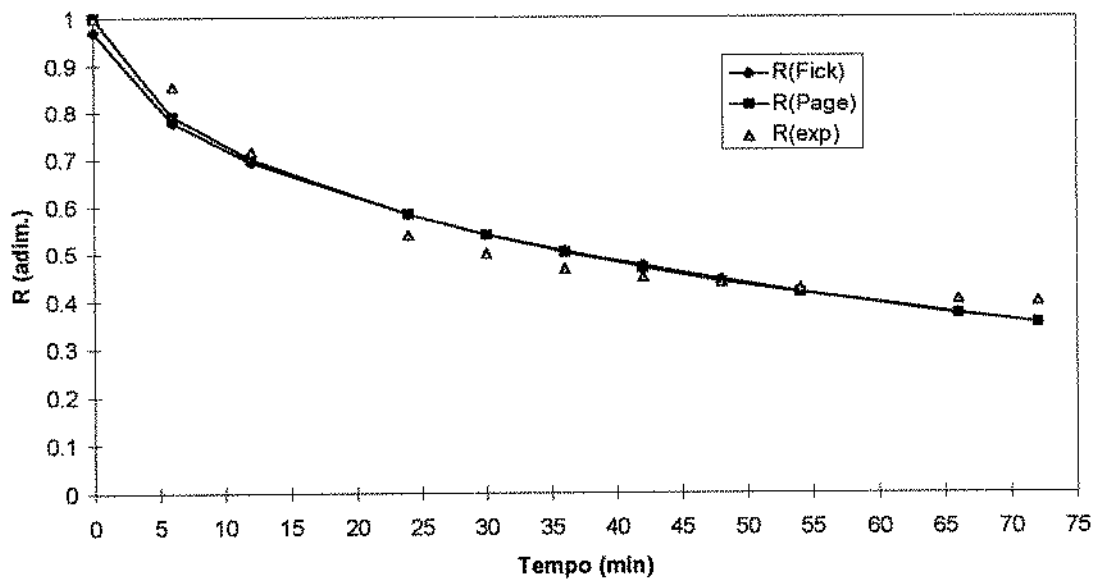


Figura 33 : Curvas de secagem obtidas para escoamento em queda livre, a 70°C, com velocidade do ar de 0,7 m/s e vazão de grãos de 210 g/s.

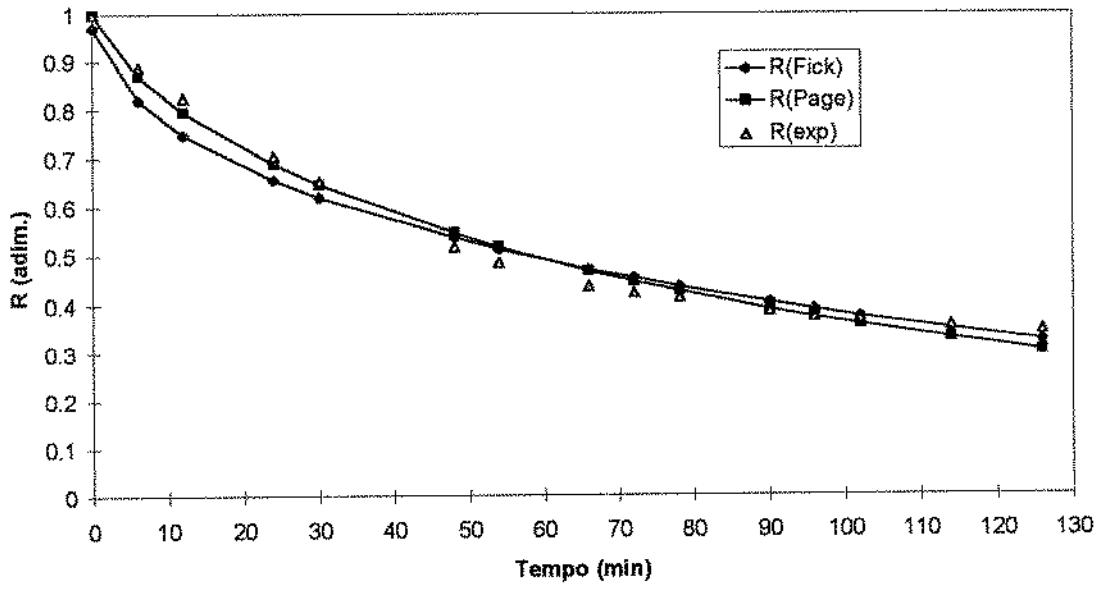


Figura 34 : Curvas de secagem obtidas para escoamento denso, a 70°C, com velocidade do ar de 0,7 m/s e vazão de grãos de 160 g/s.

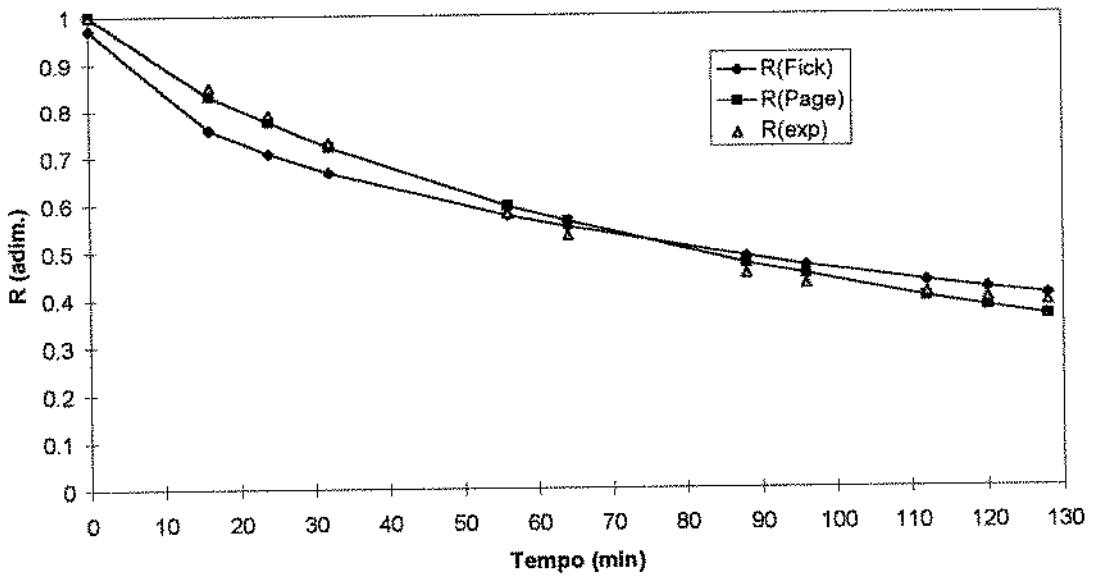


Figura 35 : Curvas de secagem obtidas para escoamento denso, a 70°C, com velocidade do ar de 0,7 m/s e vazão de grãos de 210 g/s.

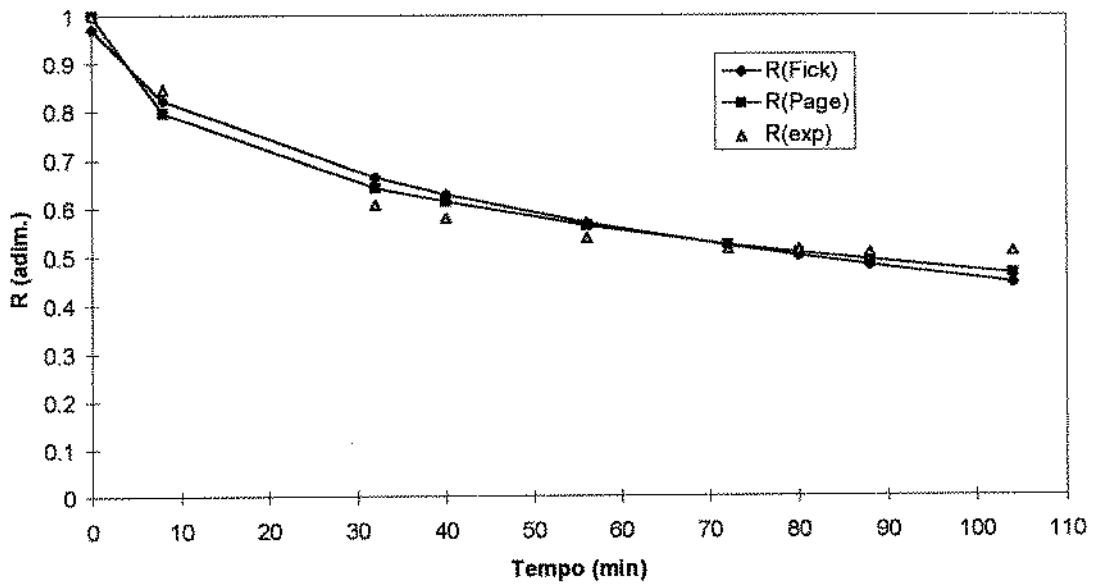


Figura 36 : Curvas de secagem obtidas para escoamento denso, a 70°C, com velocidade do ar de 1 m/s e vazão de grãos de 160 g/s.

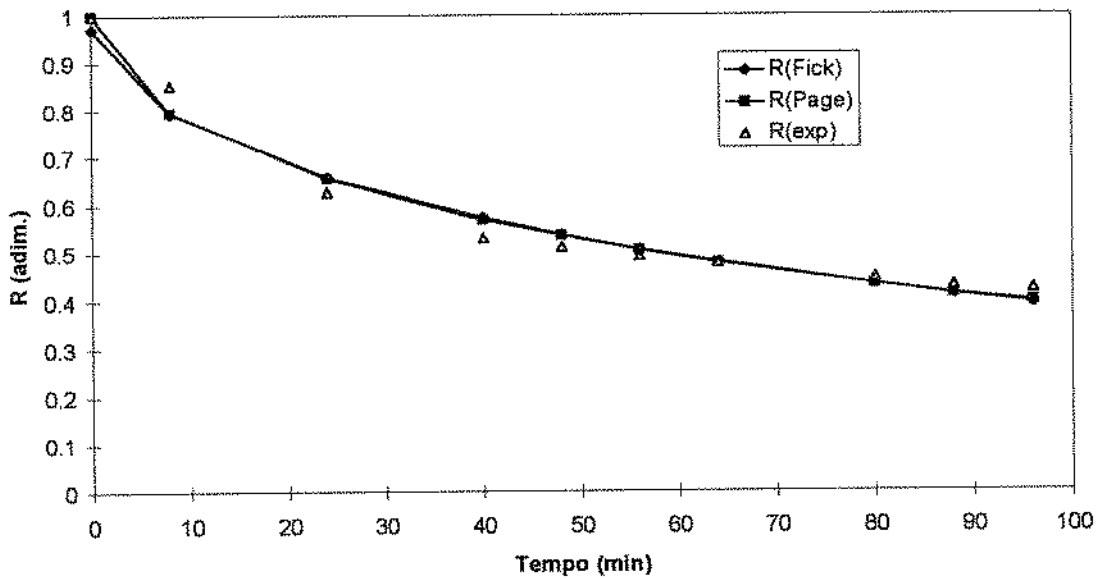


Figura 37 : Curvas de secagem obtidas para escoamento denso, a 70°C, com velocidade do ar de 1 m/s e vazão de grãos de 210 g/s.

A difusividade efetiva foi calculada para cada corrida, ajustando as curvas experimentais à curva dada pela equação 29, conforme procedimento descrito na página 46. Os resultados dos cálculos efetuados para cada corrida experimental são mostrados nas tabelas de 19 a 23.

Tabela 19 : Parâmetro k e difusividade efetiva calculados com 3 termos da série.

Corrida	K calc	Erro assint.	Erro(%)	Difusiv.(m <sup>2</sup> /h) x 10 <sup>7</sup>	Difusiv.(m <sup>2</sup> /s) x 10 <sup>11</sup>
1	0,00649	0,00082	12,60	0,14	0,39
2	0,03634	0,00397	10,92	0,78	2,17
3	0,02741	0,00474	17,28	0,59	1,63
4	0,02910	0,00525	18,04	0,62	1,73
5	0,02154	0,00191	8,85	0,46	1,28
6	0,01751	0,00225	12,86	0,38	1,04
7	0,01808	0,00153	8,45	0,39	1,08
8	0,02986	0,00249	8,36	0,64	1,78
9	0,04154	0,00534	12,86	0,89	2,48
10	0,03792	0,00598	15,76	0,81	2,26
11	0,02034	0,00209	10,23	4,36	1,21
12	0,06952	0,01021	14,68	1,49	4,14
13	0,05951	0,00851	14,30	1,28	3,55
14	0,05511	0,00638	11,58	1,18	3,28
15	0,05166	0,00577	11,17	1,11	3,08
16	0,04832	0,00667	13,81	1,04	2,88
17	0,06821	0,00958	14,04	1,46	4,07
18	0,06170	0,00758	12,28	1,32	3,68
19	0,04849	0,00710	14,65	1,04	2,89
20	0,04943	0,00575	11,63	1,06	2,95
21	0,03205	0,00289	9,02	0,69	1,91
22	0,02238	0,00303	13,55	0,48	1,33
23	0,02234	0,00339	15,20	0,48	1,33
24	0,03120	0,00381	12,22	0,67	1,86
Erro médio (%)			12,68		

Tabela 20 : Parâmetro k e difusividade efetiva calculados com 5 termos da série.

Corrida	K calc	Erro assint.	Erro(%)	Difusiv.(m <sup>2</sup> /h) x 10 <sup>7</sup>	Difusiv.(m <sup>2</sup> /s) x 10 <sup>11</sup>
1	0,00658	0,00052	7,97	0,14	0,39
2	0,03656	0,00283	7,74	0,78	2,18
3	0,02757	0,00311	11,27	0,59	1,64
4	0,02920	0,00369	12,64	0,63	1,74
5	0,02159	0,00133	6,15	0,46	1,29
6	0,01752	0,00166	9,50	0,38	1,04
7	0,01826	0,00105	5,73	0,39	1,09
8	0,03010	0,00216	7,19	0,65	1,79
9	0,04159	0,00385	9,25	0,89	2,48
10	0,03831	0,00429	11,20	0,82	2,28
11	0,02076	0,00180	8,68	0,45	1,24
12	0,06999	0,00815	11,64	1,50	4,17
13	0,05985	0,00623	10,42	1,28	3,57
14	0,05549	0,00448	8,08	1,19	3,31
15	0,05202	0,00419	8,07	1,12	3,10
16	0,04854	0,00485	9,99	1,04	2,89
17	0,06864	0,00729	10,62	1,47	4,09
18	0,06212	0,00567	9,13	1,33	3,70
19	0,04860	0,00516	10,62	1,04	2,90
20	0,04967	0,00423	8,52	1,07	2,96
21	0,03210	0,00209	6,51	0,69	1,91
22	0,02238	0,00229	10,23	0,48	1,33
23	0,02275	0,00248	10,92	0,49	1,36
24	0,03144	0,00267	8,50	0,67	1,87
Erro médio (%)			9,19		

Tabela 21 : Parâmetro k e difusividade efetiva calculados com 10 termos da série.

Corrida	K calc	Erro assint.	Erro(%)	Difusiv.(m <sup>2</sup> /h) x 10 <sup>7</sup>	Difusiv.(m <sup>2</sup> /s) x 10 <sup>11</sup>
1	0,00659	0,00034	5,11	0,14	0,39
2	0,03658	0,00203	5,54	0,78	2,18
3	0,02756	0,00207	7,52	0,59	1,64
4	0,02914	0,00291	9,98	0,62	1,74
5	0,02158	0,00098	4,55	0,46	1,29
6	0,01752	0,00136	7,78	0,38	1,04
7	0,01829	0,00071	3,88	0,39	1,09
8	0,03012	0,00195	6,47	0,65	1,80
9	0,04156	0,00301	7,25	0,89	2,48
10	0,03831	0,00330	8,61	0,82	2,28
11	0,02091	0,00158	7,56	0,45	1,25
12	0,07002	0,00687	9,81	1,50	4,17
13	0,05985	0,00485	8,10	1,28	3,57
14	0,05552	0,00320	5,76	1,19	3,31
15	0,05203	0,00323	6,20	1,12	3,10
16	0,04850	0,00385	7,94	1,04	2,89
17	0,06861	0,00604	8,80	1,47	4,09
18	0,06213	0,00443	7,14	1,33	3,70
19	0,04851	0,00424	8,75	1,04	2,89
20	0,04963	0,00343	6,90	1,07	2,96
21	0,03207	0,00171	5,33	0,69	1,91
22	0,02234	0,00197	8,80	0,48	1,33
23	0,02280	0,00195	8,54	0,49	1,36
24	0,03143	0,00199	6,34	0,67	1,87
Erro médio (%)			7,19		

Tabela 22 : Parâmetro k e difusividade efetiva calculados com 15 termos da série.

Corrida	K calc	Erro assint.	Erro(%)	Difusiv.(m <sup>2</sup> /h) x 10 <sup>7</sup>	Difusiv.(m <sup>2</sup> /s) x 10 <sup>11</sup>
1	0,00659	0,00029	4,38	0,14	0,39
2	0,03658	0,00182	4,97	0,78	2,18
3	0,02756	0,00180	6,53	0,59	1,64
4	0,02914	0,00275	9,42	0,62	1,74
5	0,02158	0,00090	4,17	0,46	1,29
6	0,01752	0,00129	7,39	0,38	1,04
7	0,01829	0,00062	3,38	0,39	1,09
8	0,03012	0,00190	6,31	0,65	1,80
9	0,04156	0,00282	6,79	0,90	2,48
10	0,03831	0,00307	8,01	0,82	2,28
11	0,02091	0,00151	7,26	0,45	1,25
12	0,07002	0,00657	9,39	1,50	4,17
13	0,05985	0,00452	7,56	1,28	3,57
14	0,05552	0,00287	5,17	1,19	3,31
15	0,05203	0,00299	5,76	1,12	3,10
16	0,04850	0,00363	7,48	1,04	2,89
17	0,06861	0,00576	8,39	1,47	4,09
18	0,06213	0,00414	6,66	1,33	3,70
19	0,04851	0,00406	8,37	1,04	2,89
20	0,04963	0,00326	6,56	1,07	2,96
21	0,03206	0,00164	5,10	0,69	1,91
22	0,02234	0,00190	8,51	0,48	1,33
23	0,02280	0,00183	8,01	0,49	1,36
24	0,03143	0,00184	5,85	0,67	1,87
Erro médio (%)			6,72		



Tabela 23 : Parâmetro k e difusividade efetiva calculados com 20 termos da série.

Corrida	K calc	Erro assint.	Erro(%)	Difusiv.(m <sup>2</sup> /h) x 10 <sup>7</sup>	Difusiv.(m <sup>2</sup> /s) x 10 <sup>11</sup>
1	0,00659	0,00027	4,08	0,14	0,39
2	0,03658	0,00174	4,75	0,78	2,18
3	0,02756	0,00169	6,13	0,59	1,64
4	0,02914	0,00268	9,21	0,62	1,74
5	0,02158	0,00087	4,02	0,46	1,29
6	0,01752	0,00127	7,24	0,38	1,04
7	0,01829	0,00058	3,18	0,39	1,09
8	0,03012	0,00188	6,25	0,65	1,80
9	0,04156	0,00275	6,61	0,89	2,48
10	0,03831	0,00298	7,77	0,82	2,28
11	0,02091	0,00149	7,15	0,45	1,25
12	0,07002	0,00646	9,23	1,50	4,17
13	0,05984	0,00440	7,35	1,28	3,57
14	0,05552	0,00274	4,93	1,19	3,31
15	0,05203	0,00291	5,58	1,12	3,10
16	0,04850	0,00354	7,30	1,04	2,89
17	0,06861	0,00565	8,24	1,47	4,09
18	0,06213	0,00402	6,47	1,33	3,70
19	0,04851	0,00399	8,23	1,04	2,89
20	0,04963	0,00319	6,43	1,07	2,96
21	0,03206	0,00161	5,02	0,69	1,91
22	0,02234	0,00188	8,40	0,48	1,33
23	0,02280	0,00178	7,81	0,49	1,36
24	0,03143	0,00178	5,66	0,67	1,87
Erro médio (%)			6,54		

Baseado nesses resultados de erro médio (%) para o parâmetro k escolheu-se como melhor solução para a equação 29, a truncada a partir do vigésimo termo.

O erro médio (%) entre as curvas experimentais e calculadas através da solução pela série com 20 termos variou de 3,15 a 10,14%, com um valor médio de 6,02%.

A energia de ativação foi estimada pela equação 42, e está mostrada na tabela 24.

Tabela 24 : Energia de ativação para cada regime de escoamento, velocidade do ar e vazão de grãos.

Velocidade ar (m/s)	Vazão grãos (kg/s)	regime de escoamento.	Energia ativação (KJ/mol)
0,7	0,16	denso	16.955
0,7	0,21	denso	11.768
1,0	0,16	denso	10.420
1,0	0,21	denso	1.910
0,7	0,16	queda livre	11.100
0,7	0,21	queda livre	8.427
1,0	0,16	queda livre	50.474
1,0	0,21	queda livre	26.631

A cinética de secagem foi também testada com um modelo experimental, que foi a equação de Page (equação 30). As constantes s e c da equação de Page, calculadas pelo pacote estatístico SAS, estão mostradas na tabela 25.

Tabela 25 : Constantes s e c da equação de Page.

Corrida	S calc	Erro assint.	Erro(%)	C calc	Erro assint.	Erro(%)	
1	0,289	0,014	4,93	0,575	0,035	6,13	
2	0,810	0,016	1,92	0,516	0,026	5,01	
3	0,655	0,008	1,23	0,704	0,022	3,15	
4	0,687	0,022	3,20	0,741	0,052	6,99	
5	0,563	0,017	3,09	0,622	0,029	4,73	
6	0,448	0,013	2,83	0,810	0,040	4,94	
7	0,547	0,008	1,43	0,520	0,015	2,85	
8	0,800	0,013	1,62	0,459	0,015	3,18	
9	0,843	0,028	3,34	0,667	0,049	7,27	
10	0,793	0,038	4,84	0,554	0,070	12,60	
11	0,623	0,013	2,03	0,402	0,022	5,57	
12	1,087	0,046	4,22	0,448	0,049	11,00	
13	1,031	0,052	5,06	0,555	0,065	11,66	
14	0,989	0,025	2,56	0,541	0,034	6,33	
15	0,951	0,030	3,20	0,543	0,043	7,84	
16	0,931	0,043	4,65	0,615	0,062	10,15	
17	1,108	0,075	6,76	0,554	0,071	12,83	
18	0,990	0,039	3,96	0,462	0,048	10,47	
19	1,017	0,044	4,30	0,760	0,055	7,20	
20	0,935	0,042	4,52	0,597	0,063	10,59	
21	0,711	0,015	2,10	0,701	0,036	5,15	
22	0,548	0,014	2,52	0,823	0,043	5,20	
23	0,592	0,023	3,92	0,471	0,066	14,08	
24	0,710	0,022	3,14	0,563	0,057	10,15	
Erro médio (%)			3,39				7,71

O erro médio (%) entre as curvas experimentais e calculadas através da equação de Page variou de 1,15 a 6,56%, com um valor médio de 4,03%.

Pela comparação entre o valor médio do erro (%) entre as curvas experimentais e calculadas, pode-se afirmar que o modelo empírico de Page ajustou os dados experimentais um pouco melhor que o modelo teórico de difusão de Fick. Entretanto em valores absolutos, ambos os modelos proporcionaram um bom ajuste.

## 4.5 COMPARAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Pela análise dos resultados obtidos nos estudos de transferência de calor e massa, pudemos concluir que as melhores condições de operação do secador com promotores anulares estáticos de mistura, considerando o menor tempo necessário para atingir a umidade desejada, são:

Temperatura do ar de secagem = 70°C

Velocidade do ar de secagem = 1 m/s

Vazão de sólidos = 0,16 kg/s

Regime de escoamento em queda livre

Para podermos comparar o secador com promotores anulares estáticos de mistura com o secador em coluna modelo KW 110R, da empresa Kepler Weber, foram calculados os tempos de secagem necessários em cada um dos 24 regimes de operação para realizar a retirada de 5% de umidade da soja, de 18 para 13%, considerando a mesma capacidade de secagem do secador da Kepler Weber, 10 ton/h. Assim, considerou-se a utilização de 13 colunas de secagem, com promotores anulares estáticos de mistura, iguais a que foi testada de modo a obter uma capacidade total de 10 ton/h.

Com isso foi necessário selecionar um ventilador que suprisse a pressão e vazão de ar necessárias para tal capacidade de secagem. A partir da perda de carga máxima do sistema, 94 mm de coluna de água, e da vazão de ar total requerida, 13,8 m<sup>3</sup>/min, o ventilador selecionado foi o modelo centrífugo VS200 D da empresa ASTEN e CIA LTDA., que fornece uma vazão de 40 m<sup>3</sup>/min e uma pressão de 135 mm de coluna d'água. Tal ventilador apresenta uma potência de 2 cv e 3440 RPM.

Foi possível então compor o gasto energético do secador estudado, para realizar a secagem de 10 toneladas de soja de 18 para 13% de umidade (base seca) em relação a cada parâmetro de operação estudado.

Na tabela 26 estão mostrados os gastos energéticos com aquecimento do ar e com a utilização do ventilador para cada um dos 24 parâmetros operacionais.

Tabela 26: Energia consumida pelo secador com promotores estáticos de mistura

Temp. (°C)	Vel. ar (m/s)	Vaz. grãos (kg/s)	Regime escoam.	Tempo (h)	Aquecim. (KJ) x10 <sup>-3</sup>	Vent. (KJ) x10 <sup>-3</sup>	Energ. total (KJ) x10 <sup>-3</sup>
50	0,7	0,16	denso	0,87	12,87	4,61	17,48
50	0,7	0,21	denso	1,19	17,61	6,31	23,93
50	1,0	0,16	denso	0,90	18,96	4,76	23,72
50	1,0	0,21	denso	0,39	8,17	2,05	10,21
60	0,7	0,16	denso	2,23	46,04	11,79	57,83
60	0,7	0,21	denso	0,33	6,81	1,74	8,56
60	1,0	0,16	denso	0,60	17,73	3,18	20,91
60	1,0	0,21	denso	0,58	17,07	3,06	20,12
70	0,7	0,16	denso	0,46	12,13	2,42	14,55
70	0,7	0,21	denso	0,70	18,73	3,73	22,46
70	1,0	0,16	denso	0,46	17,47	2,44	19,91
70	1,0	0,21	denso	0,38	14,37	2,00	16,37
50	0,7	0,16	queda livre	0,46	6,82	2,45	9,27
50	0,7	0,21	queda livre	0,48	7,10	2,54	9,64
50	1,0	0,16	queda livre	0,63	13,28	3,33	16,61
50	1,0	0,21	queda livre	0,19	4,02	1,01	5,03
60	0,7	0,16	queda livre	0,24	4,97	1,27	6,24
60	0,7	0,21	queda livre	0,23	4,77	1,22	5,99
60	1,0	0,16	queda livre	0,26	7,67	1,38	9,05
60	1,0	0,21	queda livre	0,31	9,28	1,66	10,95
70	0,7	0,16	queda livre	0,30	8,06	1,61	9,67
70	0,7	0,21	queda livre	0,25	6,70	1,33	8,03
70	1,0	0,16	queda livre	0,15	5,65	0,79	6,44
70	1,0	0,21	queda livre	0,17	6,33	0,88	7,21

O secador KW 110R da Kepler tem suas características e consumo energético para realizar a secagem de 10 toneladas de soja de 18 para 13% de umidade (base seca) mostrados na tabela 27.

Tabela 27 : Energia consumida pelo secador KW 110R

Temp. (°C)	Vazão ar (m <sup>3</sup> /h)	Tempo (h)	Ventilador (KJ)	Aquecimento (KJ)	Energ. total (KJ)
100	25000	1	26400	2167000	2192000

Para compararmos a eficiência dos dois secadores, consideramos a utilização de um ventilador de 10 cv igual ao utilizado pelo KW 110R, de modo a verificarmos apenas a influência do novo secador. Na Tabela 28 está mostrada a comparação do gasto energético total dos 2 secadores, considerando o pior e o melhor regime de operação do secador com promotores anulares estáticos de mistura e ainda utilizando um ventilador de 10 cv como o secador KW 110R. Os valores apresentados referem-se a retirada de umidade de 18 para 13% (base seca) e uma capacidade de secagem de 10 toneladas.

Tabela 28 : Gasto energético comparativo entre os secadores

Secador com promotores de mistura		Secador KW 110R
Energia total gasta (KJ)		Energia total gasta (KJ)
pior regime	72400	2192000
melhor regime	30500	

A economia de energia apresentada com o pior regime de operação do secador com promotores anulares estáticos de mistura foi de 96,69% e com o melhor regime de 98,6%.

Considerando a utilização de 3 combustíveis, lenha, bagaço de cana e óleo BPF, para promover o aquecimento do ar, além da energia elétrica para o ventilador, foi calculada a economia em dólares com a utilização de cada energético.

O poder calorífico de cada energético e o seu custo, e o custo da energia elétrica estão mostrados abaixo (Fonte: Boletim Informativo CESP - setembro 1994):

Bagaço de cana	944,3 KJ/kg	0,00849 US\$/kg
Lenha	13460 KJ/kg	0,0278 US\$/kg
Óleo BPF	42765 KJ/kg	0,1133 US\$/kg
Energia elétrica		0,11115 US\$/Kwh

A tabela 29 mostra a economia em unidades monetárias (US\$), do secador com promotores de mistura, considerando a utilização dos energéticos acima citados, em relação ao secador KW 110R.

Tabela 29 : Comparação do custo operacional entre os secadores para vários energéticos

Equipamento	Energ. Total (KJ)	Energ. Elétrica (US\$)	Bag. cana (US\$)	Lenha (US\$)	Óleo BPF (US\$)
secador com promotores no pior regime	72400	2,24	0,65	0,15	0,19
secador com promotores no melhor regime	30500	0,94	0,27	0,06	0,08
KW 110R	2192000	67,67	19,70	4,53	5,81

Tal discrepância de valores pode ser explicada em parte pela vazão de ar utilizada pelo secador KW 110R, que é de 25000 m<sup>3</sup>/h, contra os 826,8 m<sup>3</sup>/h do secador estudado. Ou seja, utilizou-se uma vazão de ar 30 vezes menor para realizar o mesmo serviço. Além disso a temperatura de secagem utilizada pelo KW 110R é de 100°C contra 70°C que é a temperatura máxima utilizada no secador estudado.



## 5. CONCLUSÕES

A partir dos métodos de análise propostos no capítulo 3 e dos resultados apresentados e discutidos no capítulo 4, podemos listar as seguintes conclusões:

1- Construiu-se um novo equipamento de secagem de materiais granulares, sem similar no mercado, munido de promotores estáticos anulares de mistura, que pode perfeitamente ser utilizado para a secagem de grãos.

2- Este novo equipamento apresentou uma perda de carga máxima de 94 mm de coluna de água quando operando com um leito estático de soja. Esta perda de carga relativamente baixa é aparentemente surpreendente devido à presença dos misturados no interior do equipamento, entretanto o detalhe construtivo de fazer as pás retorcidas que compunham os misturadores com 2,5 furos (diâmetro 2 mm) por centímetro quadrado parece ter compensado muito bem a perda de carga prevista.

3- Foi obtida uma equação empírica, com um bom índice de correlação, para o fator de atrito em função do número de Reynolds, conforme mostrado abaixo:

$$f^{-1/2} = 1,125 \times \log_{10}[Re \times f^{-1/2}] - 3,7903 \quad \{\text{coef. corr.} = 0.904\}$$

4- Não foi possível obter uma caracterização dos escoamentos em função da porosidade do leito tão boa quanto o proposto por GYENIS et alii (1994), pois os valores de porosidade se mostraram muito semelhantes para o 3 regimes de escoamento estudados. Entretanto uma caracterização visual muito clara pode ser observada.

5- O tempo de residência médio dos grãos no interior do secador para o regime de escoamento em queda livre foi praticamente constante para todas as vazões mássicas aplicadas, e em torno de 10 segundos. Já para o regime de escoamento denso variou de 17 a 43 segundos, conforme o aumento da vazão mássica aplicada.

6- Os perfis de temperatura na direção axial diferiram bastante entre o obtido para o regime de escoamento denso e o em queda livre. Para o regime de escoamento denso, a temperatura no interior do secador no sentido axial apresentou uma queda muito sutil, ao passo que esta queda foi acentuada para o escoamento em queda livre.

7- Foram obtidas equações empíricas descrevendo a transferência de calor no secador em função de uma relação entre os números adimensionais de Nusselt e Reynolds, para cada regime de escoamento, tendo o número de Reynolds sido calculado com a soma das velocidades do fluido e da partícula. Tais equações apresentam uma grande semelhança com equações para transferência de calor em leitos deslizantes.

8- Dois modelos de cinética de secagem foram testados para ajustar os dados experimentais: o modelo de difusão de Fick (teórico) e o modelo de Page (empírico). Ambos apresentaram um bom ajuste, com erro médio menor que 7%, mas o modelo empírico de Page foi o que possibilitou o melhor ajuste (4% de erro).

9- As difusividades mássicas efetivas obtidas para cada condição de operação variaram de  $3,93 \times 10^{-12}$  a  $4,17 \times 10^{-11}$  m<sup>2</sup>/s. Foram maiores quanto maiores eram as temperaturas, as vazões de grão e as velocidades do ar. Além disso foram maiores para o regime de escoamento em queda livre do que para o regime de escoamento denso.

10- A energia de ativação calculada para cada regime de escoamento, velocidade do ar e vazão de grãos, variou de 1900 a 50500 KJ/mol

11- O secador com promotores estáticos anulares de mistura apresentou uma grande eficiência energética quando comparado com um secador contínuo vertical existente no mercado da marca Kepler Weber, modelo KW 110R. Tal eficiência se refletiu numa economia que variou de 96,7 a 98,6% em termos do consumo energético.

12- O secador estudado mostrou ser extremamente interessante e viável economicamente do ponto de vista do consumo energético, atestando que os promotores estáticos anulares de mistura promoveram um grande aumento da eficiência energética da secagem, como se supunha inicialmente.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALONSO, L. F. T., CORRÊA Jr., W. A., ESPÍNOLA, O. A., GODOI, L. F. G., MAZONETO, A. W. and PARK, K. J. Pressure Drop Through an Annular Static Mixer Dryer. In: Proceedings of the First International Particle Technology Forum, of the American Institute of Chemical Engineers. Denver, U.S.A., 424-9, 1994.
- BANASZEK, M.M. and SIEBENMORGEN, T.J. Individual Rice Kernel Drying Curves. Trans. ASAE, 36 (2): 521-8, 1993.
- BAKKER-ARKEMA, F. W., FONTANA, C. and SCHISLER, I.P. Comparison of rice drying systems. ASAE Paper. n83-3532. 1983.
- BIRD, R.B., STEWART, W.E. and LIGHTFOOT, E.N. Transport Phenomena. New York, John Wiley & Sons, Inc., 780p., 1960.
- BOLETIM INFORMATIVO CESP - setembro 1994
- BOWERS, T. G. and REINTJES, H. A Review of Fluid-to-particle Heat Transfer in Packed and Moving Beds. Chem. Eng. Progr. Symposium Series, 57 (32): 69-74, 1961.
- BROOKER, D. B., BAKKER-ARKEMA, F. W. and HALL, C. W. Drying Cereal Grain. The AVI Publishing Co. Westport. 1974.
- CARSLAW, H.S. and JAEGER, J.C. Conduction of Heat in Solids. London, Oxford University Press, 510p., 1959.
- CHHINNAN, M.S. Evaluation of Selected Mathematical Models for Describing Thin-Layer Drying of In-Shell Pecans. Trans. ASAE, 27: 610-5, 1984.

- COLSON, K.H. and YOUNG, J.H. Two-Component Thin-Layer Drying Model for Unshelled Peanuts. Trans. ASAE, 33 (1): 241-6, 1990.
- CORRÉA Jr., W. A., ALONSO, L. F. T., GODOI, L. F. G. and PARK, K. J. Perda de Carga em um Secador Munido de Promotores Anulares Estáticos de Mistura. Engenharia Agrícola, v.14, 47-54, 1994.
- COULSON, J.M. and RICHARDSON, J.F. Chemical Engineering. Oxford, Pergamon Press, V.1, 449p., 1977.
- CRANK, J. Mathematics of Diffusion. Oxford, Clarendon Press, 414p., 1967.
- DAUDIN, J.D. Calcul des Cinétiques de Séchage par L'air Chaud des Produits Biologiques Solides. Sciences des Aliments, 3: 1-36, 1983.
- DANKWERTZ, P. V. Continuous Flow Systems. Distribution of Residence Times. Chem. Eng. Sci., N.2, page 1, 1953.
- ECE, M.C. and CIHAN, A. A Liquid Diffusion Model for Drying Rough Rice. Trans. ASAE, 36 (3): 837-40, 1993.
- FAN, L.T., CHEN, S.J., and WATSON, C.A. Solids Mixing. Ind. Eng. Chem., 62, 7, 53, 1970.
- FAN, L.T., CHEN, S.J., and WATSON, C.A. The Mixing of Solids in a Motionless Mixer - A Stochastic Approach. AIChE Journal, 18, 5, 984, 1972.
- FAN, L.T., CHEN, S.J., and WATSON, C.A. Mixing of Solid Particles in Motionless Mixer - Axial-Dispersed Plug-Flow Model. Ind. Eng. Chem. Proc. Des. Dev., 12, 1, 42, 1973.

- FAN, L.T. and WANG, R.H. Axial Mixing of Grains in a Motionless Sulzer (Koch) Mixer. Ind. Eng. Chem. Proc. Des. Dev., 15, 1, 381, 1976.
- FIRESTONE, R.L., WALKER, P.N. and PURI, V.M. Drying Rate of Alfafa in a Protective Structure. Trans. ASAE, 31: 52-57, 1988.
- FORNELL, A., BIMBENET, J.J. and ALMIN, Y. Experimental Study and Modelization for Air Drying of Vegetable Products. Lebensm. Wiss. u. Technol., 14: 96-100, 1980.
- GODOI, L. F. G., PARK, K. J., ALONSO, L. F. T. and CORRÉA Jr., W. A. Particle Flow in an Annular Static Mixer Dryer. In: Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Particle Technology Forum, in the 5<sup>th</sup> World Congress of Chemical Engineering. San Diego, U.S.A., 6 p., 1996.
- GODOI, L. F. G., PARK, K. J., CORRÉA Jr., W. A. and ALONSO, L. F. T. Heat Transfer Correlation for an Annular Static Mixer Dryer. In: Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Particle Technology Forum, in the 5<sup>th</sup> World Congress of Chemical Engineering. San Diego, U.S.A., 6 p., 1996.
- GRAHAM, V.A. and BILANSKI, W.K. Simulation of Grain Drying in Intimate Contact with Adsorbents. Trans. ASAE, 29 (6): 1776-83, 1986.
- GYENIS, J., ÁRVA, J. and NÉMETH, L. Steady state particle flow in mixer tubes equipped with motionless mixer elements. In: Industrial Mixing Technology: Chemical and Biological Applications. AIChE Symposium Series, 90(299): 144-60, 1994.
- HOLMAN, J.P. Heat Transfer. New York, McGraw-Hill Book Company, Inc., 462p., 1972.

HUBINGER, M. D. Modelagem, Simulação e Avaliação Energética e Exergética de Secadores a Leito Deslizante. Campinas, 1994. (tese, Doutorado-Faculdade de Engenharia de Alimentos, UNICAMP)

JASON, A.C. A study of evaporation and diffusion process in the drying of fish muscle. Fundamental aspects of dehydration of foodstuffs. The Society of Chemical Industry, NY, 103-135, 1958.

JAYAS, D.S. and SOKHANSANJ, S. Thin-Layer Drying of Barley at Low Temperatures. Can. Agric. Eng., 31: 21-3, 1989.

KARATHANOS, V.T., VILLALOBOS, G., SARAVACOS, G.D. Comparision of two methods of estimation of the effective moisture diffusivity from drying data. Journal of Food Science, 55(1): 218-223, 1990.

KNUDSEN, J.G. and KATZ, D.L. Fluid Dynamics and Heat Transfer. New York, McGraw-Hill Book Company, Inc., 576p., 1958.

KREITH, F. Princípios da Transmissão de Calor. São Paulo, Editora Edgard Blücher Ltda., 641p., 1969.

KRISCHER, O. and KRÖLL, K. Die Wissenschaftlichen Grundlagen der Trocknungstechnik. Berlin, Springer Verlag, 491 p. 1963.

LABUZA, T.P. and SIMON, I.B. Surface Tension Effects During Dehydration. Air Drying of Apple Slices. Food Technology, 24: 712-5, 1970.

LEVA, M. Fluidization. New York, McGraw-Hill Inc., 1<sup>a</sup> ed., 1959.

LEVENSPIEL, O. and KUNII, D. Fluidization Engineering. London, John Wiley & Sons Inc., 534 p., 1969.

- LEVENSPIEL, O. Engenharia das Reações Químicas. New York, John Wiley & Sons Inc., V. 2, 481 p., 1974.
- LEWIS, W.K. The Rate of Drying of Solids Materials. J. of Ind. and Eng. Chem., 13 (5): 427-32, 1921.
- LI, H. and MOREY, R.V. Thin-Layer Drying of Yellow Dent Corn. Trans. ASAE, 27: 581-5, 1984.
- LI, Y., MOREY, R.V. and AFINRUD, M. Thin-Layer Drying Rates of Oilseed Sunflower. Trans. ASAE, 30: 1172-5, 1987.
- LUIKOV, A.V. Heat and Mass Transfer in Capillary-Porous Bodies. Pergamon Press, Oxford, 523 p., 1966.
- LUIKOV, A.V. and MIKHAYLOV, Yu.A. Theory of Energy and Mass Transfer. Pergamon Press, Oxford, 392 p., 1965.
- McADAMS, W.H. Heat Transmission. New York, McGraw-Hill Book Company, 532p., 1954.
- MEYER, J.A., VILLA, L.G., ROA, G. e ROSSI, S.J. Energia para a Secagem dos Produtos Agropecuários. Revista Brasileira De Armazenamento, Viçosa, MG, v 4: 5-14, 1982.
- MIKETINAC, M.J., SOKHANSANJ, S. and TUTEK, Z. Determination of Heat and Mass Transfer Coefficients in Thin-Layer Drying of Grain. Trans. ASAE, 35 (6): 1853-8, 1992.
- MOHSENIN, N.N. Physical properties of agricultural products. Trans. of the ASAE, 8(1): 25-9, 1965.

- MOHSENIN, N.N. Physical properties of plant and animal materials. New York, Gordon and Breach Science, 890p., 1986.
- MOREY, R. V. and CLOUD, H. A. Simulation and evaluation of a multiple column crossflow grain dryer. Trans. of the ASAE, 16(5): 984-7, 1973.
- NELLIST, M. E. Developments in continuous flow grain driers. The Agricultural Engineering., Autumn, 74-80. 1982.
- NOOMHORM, A. and VERMA, L.R. Generalized Single-Layer Rice Drying Models. Trans. ASAE, 29 (2): 587-91, 1986.
- NOOMHORM, A. and VERMA, L.R. Deep-Bed Rice Drying Simulation Using Two Generalized Single-Layer Models. Trans. ASAE, 29 (5): 1456-61, 1986.
- OSBORN, G.S., WHITE, G.M. and WALTON, L.R. Thin-Layer Moisture Adsorption Equation for Soybeans. Trans. ASAE, 34 (1): 201-4, 1991.
- PARK, K. J. Obtenção de correlação para transferência de calor e de quantidade de movimento, para fluidos newtonianos e não-newtonianos, em um trocador munido de promotores estacionários anulares de turbulência. Campinas, 1979. 102p. (tese, Doutorado-Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia de Campinas, UNICAMP)
- PARK, K. J., ALONSO, L. F. T. and GODOI, L. F. G. Beans (*Phaseolus vulgaris* L.) Characteristic Drying Curve. In: Proceedings of the 10<sup>th</sup> International Drying Symposium. Krakow, Poland, 1001-8, 1996.
- PARK, K. J., JARDINE, J. G. and SUNDFELD, E. Desenvolvimento e avaliação de um secador contínuo de grãos. In: IV Encontro Nacional de Secagem, Viçosa, 55-8, 2 a 4 de março, 1983.



PATENTE INDUSTRIAL PI 8700583, IPT/EMBRAPA/UNICAMP. Equipamento para secagem de materiais granulares. Inventores: KIL JIN PARK, FÉLIX EMÍLIO PRADO CORNEJO, SONG WON PARK.

PATHAK, P.K., AGRAWAL, Y.C. and SINGH, B.P.N. Thin-Layer Drying Model for Rapeseed. Trans. ASAE, 34 (6): 2505-8, 1991.

PATIL, R.T., SOKHANSANJ, S., ARINZE, E.A. and SCHOENAU, G. Thin Layer Drying of Components of Fresh Alfafa. Can. Agric. Eng., 34 (4): 343-6, 1992.

PRASAD, B.V.S., CHANDRA, P.K. and BAL, S. Drying Parboiled Rough Rice in Stationary, Semi-Fluidized, and Fluidized Conditions. Trans. ASAE, 37 (2): 589-94, 1994.

SARAVACOS, G.D. and CHARM, S.E. A Study of the Mecanism of Fruit and Vegetable Dehydration. Food Technology, 16: 78-81, 1962.

SARTORI, D. J. M. Transferência de calor em leito deslizante. Rio de Janeiro, 1986. 219p. (Tese, Doutorado-Engenharia Química, COPPE, UFRJ)

SHERWOOD, T.K. The Drying of Solids (I). Ind. Eng. Chem., 21 (1): 12-16, 1929.

SHERWOOD, T.K. The Drying of Solids (II). Ind. Eng. Chem., 21 (10): 976-80, 1929.

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM - SAS. SAS user's guide: Statistics. 5 ed. Cary, NC, SAS Institute Inc., 956p., 1985.

STEVENS, G. R. and THOMPSON, T. L. Improving Cross-flow Grain Dryer Design Using Simulation. Trans. of the ASAE, 19(4): 778-81, 1976.

SYARIEF, A.M., MOREY, R.V. and GUSTAFSON, R.J. Thin-Layer Drying Rates of Sunflower Seed. Trans. ASAE, 27: 195-200, 1984.

- VAN BRACKEL, J. Mass Transfer in Convective Drying in: "Advances in Drying", 217-67, Mujumdar A.S. Washington, Hemisphere Publishing Corporation, 1980.
- VANECEK, V., MARKVART, M. and DRBOHLAV, R. Fluidized Bed Drying. London, Leonard Hill, 1966.
- VERSAVEL, P.A. and MUIR, W.E. Drying Behavior of High-Moisture-Content Wheat-Spikes. Trans. ASAE, 31: 1260-3, 1988.
- VERSAVEL, P.A. and MUIR, W.E. Drying of Rewetted Wheat Spikes. Can. Agric. Eng., 30: 57-60, 1988.
- WALKER, L. P. and BAKKER-ARKEMA, F. W. Energy efficiency in concurrent flow rice drying. ASAE Paper. n78-3540. 1978.
- WALTON, L.R., CASADA, M.E., HENSON JR., W.H., CASADA, J.H. and SWETNAM, L.D. Drying Rates of Intact Burley Tobacco Plant Components. Trans. ASAE, 27: 219-21, 1984.
- WALTON, L.R., WHITE, G.M. and ROSS, I.J. A Cellular Diffusion-Based Model for Corn. Trans. ASAE, 31 (1): 279-83, 1988.
- WHITAKER, S. Heat and Mass Transfer in Granular Porous Media in: "Advances In Drying", 23-61, Mujumdar, A.S. Washington, Hemisphere Publishing Corporation, 1980.

## ANEXO 1

Programa de entrada de dados no SAS

```
DATA;
INPUT
TR Teste;
CARDS;
0 1
0.5 0.849413 1
1.25 0.728801 1
2 0.630182 1
3 0.569876 1
3.5 0.541978 1
4 0.514745 1
4.75 0.481013 1
5.75 0.469212 1
6.25 0.464862 1
0 1
0.25 0.689257 2
0.5 0.552701 2
1.25 0.386872 2
1.5 0.355645 2
1.75 0.335738 2
2 0.312755 2
2.25 0.303161 2
2.5 0.295305 2
0 1
0.25 0.793353 3
0.5 0.666013 3
0.75 0.570316 3
1.25 0.467313 3
1.5 0.420454 3
1.75 0.383613 3
0 1
0.166667 0.867556 4
0.333333 0.747084 4
0.5 0.650412 4
0.833333 0.513248 4
1.166667 0.446359 4
1.5 0.401752 4
1.833333 0.372691 4
0 1
0.25 0.828857 5
0.75 0.635749 5
```

1	0.54826	5
1.5	0.472336	5
1.75	0.433313	5
2.25	0.365985	5
3	0.311832	5
3.75	0.284589	5
4	0.277401	5
4.25	0.267555	5
4.5	0.26256	5
0	1	6
0.5	0.795467	6
0.75	0.711143	6
1	0.634458	6
1.25	0.568432	6
1.75	0.471253	6
2	0.44064	6
2.25	0.417435	6
2.5	0.397771	6
2.75	0.391607	6
0	1	7
0.25	0.782186	7
0.5	0.687017	7
1	0.568718	7
1.25	0.521691	7
1.75	0.470149	7
2.25	0.436463	7
2.5	0.420175	7
2.75	0.401793	7
3.25	0.368052	7
3.5	0.352901	7
4	0.332032	7
0	1	8
0.25	0.669032	8
0.5	0.558548	8
0.75	0.500297	8
1.25	0.389105	8
1.5	0.360258	8
2.5	0.293704	8
2.75	0.276931	8
3	0.265933	8
3.25	0.253275	8
3.5	0.242579	8
3.75	0.228507	8
4.5	0.206185	8
4.75	0.201161	8
5.75	0.1961	8
0	1	9
0.166667	0.821253	9
0.333333	0.667168	9

0.666667	0.496229	9
1	0.400207	9
1.333333	0.341588	9
1.666667	0.305505	9
1.833333	0.289635	9
2.333333	0.27399	9
0	1	10
0.166667	0.801149	10
0.333333	0.636943	10
0.5	0.545943	10
0.666667	0.493221	10
1	0.44354	10
1.166667	0.425079	10
1.5	0.416723	10
0	1	11
0.166667	0.718144	11
0.333333	0.65413	11
0.833333	0.572593	11
1.333333	0.500205	11
1.833333	0.465353	11
2	0.453169	11
2.166667	0.433752	11
2.5	0.408515	11
2.833333	0.377723	11
3	0.360367	11
0	1	12
0.166667	0.631083	12
0.333333	0.4929	12
0.5	0.420553	12
0.666667	0.385792	12
0.833333	0.35766	12
1.166667	0.330653	12
1.333333	0.330914	12
0	1	13
0.133333	0.767949	13
0.266667	0.57327	13
0.533333	0.446571	13
0.666667	0.408035	13
0.933333	0.373724	13
1.066667	0.363609	13
1.2	0.354096	13
0	1	14
0.133333	0.736419	14
0.266667	0.623518	14
0.533333	0.466479	14
0.666667	0.434185	14
0.8	0.398055	14
1.066667	0.359211	14
1.333333	0.328797	14

1.466667	0.325679	14
0	1	15
0.133333	0.768914	15
0.266667	0.6305	15
0.4	0.550769	15
0.533333	0.47807	15
0.666667	0.428393	15
0.933333	0.382865	15
1.2	0.357197	15
1.333333	0.350986	15
1.466667	0.345169	15
0	1	16
0.133333	0.82484	16
0.266667	0.665742	16
0.4	0.56243	16
0.533333	0.485639	16
0.8	0.41815	16
0.933333	0.39201	16
1.333333	0.356364	16
1.466667	0.349497	16
0	1	17
0.1	0.808419	17
0.2	0.621709	17
0.3	0.521219	17
0.4	0.466493	17
0.6	0.403148	17
0.8	0.381882	17
0.9	0.376926	17
1	0.376017	17
0	1	18
0.2	0.642575	18
0.3	0.559316	18
0.4	0.499298	18
0.5	0.46199	18
0.6	0.438512	18
0.8	0.413405	18
0.9	0.405893	18
1	0.404884	18
0	1	19
0.1	0.87517	19
0.2	0.762794	19
0.3	0.6623	19
0.4	0.583984	19
0.5	0.523233	19
0.6	0.474059	19
0.7	0.444511	19
0.9	0.398874	19
1.1	0.38233	19
0	1	20

0.1	0.853592	20
0.2	0.713615	20
0.4	0.538424	20
0.5	0.499007	20
0.6	0.467293	20
0.7	0.449085	20
0.8	0.437623	20
0.9	0.425024	20
1.1	0.403367	20
1.2	0.398594	20
0	1	21
0.1	0.887844	21
0.2	0.824494	21
0.4	0.705127	21
0.5	0.651741	21
0.8	0.517518	21
0.9	0.484195	21
1.1	0.434712	21
1.2	0.421997	21
1.3	0.411779	21
1.5	0.386821	21
1.6	0.374229	21
1.7	0.369148	21
1.9	0.354566	21
2.1	0.345695	21
0	1	22
0.266667	0.850095	22
0.4	0.791283	22
0.533333	0.731307	22
0.933333	0.57912	22
1.066667	0.530595	22
1.466667	0.449023	22
1.6	0.428716	22
1.866667	0.408357	22
2	0.398185	22
2.133333	0.390519	22
0	1	23
0.133333	0.845142	23
0.533333	0.607739	23
0.666667	0.579332	23
0.933333	0.536995	23
1.2	0.515286	23
1.333333	0.514626	23
1.466667	0.506503	23
1.733333	0.508595	23
0	1	24
0.133333	0.853323	24
0.4	0.627104	24
0.666667	0.530382	24

0.8	0.512463	24
0.933333	0.492888	24
1.066667	0.47923	24
1.333333	0.44812	24
1.466667	0.430908	24
1.6	0.423709	24

PROC SORT;

BY Teste;

PROC PRINT;

RUN;



## ANEXO 2

Solução por série da equação 29, e suas derivadas primeira e segunda, para 20 termos da série.

$$\begin{aligned}
 R = & (6*(1/(400*E^{(400*k*Pi^2*T)}) + 1/(361*E^{(361*k*Pi^2*T)}) + \\
 & 1/(324*E^{(324*k*Pi^2*T)}) + 1/(289*E^{(289*k*Pi^2*T)}) + \\
 & 1/(256*E^{(256*k*Pi^2*T)}) + 1/(225*E^{(225*k*Pi^2*T)}) + \\
 & 1/(196*E^{(196*k*Pi^2*T)}) + 1/(169*E^{(169*k*Pi^2*T)}) + \\
 & 1/(144*E^{(144*k*Pi^2*T)}) + 1/(121*E^{(121*k*Pi^2*T)}) + \\
 & 1/(100*E^{(100*k*Pi^2*T)}) + 1/(81*E^{(81*k*Pi^2*T)}) + \\
 & 1/(64*E^{(64*k*Pi^2*T)}) + 1/(49*E^{(49*k*Pi^2*T)}) + \\
 & 1/(36*E^{(36*k*Pi^2*T)}) + 1/(25*E^{(25*k*Pi^2*T)}) + \\
 & 1/(16*E^{(16*k*Pi^2*T)}) + 1/(9*E^{(9*k*Pi^2*T)}) + \\
 & 1/(4*E^{(4*k*Pi^2*T)} + E^{-(k*Pi^2*T)})))/Pi^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 dR/dk = & (-6*(1 + E^{(39*k*Pi^2*T)} + E^{(76*k*Pi^2*T)} + E^{(111*k*Pi^2*T)} + \\
 & E^{(144*k*Pi^2*T)} + E^{(175*k*Pi^2*T)} + E^{(204*k*Pi^2*T)} + \\
 & E^{(231*k*Pi^2*T)} + E^{(256*k*Pi^2*T)} + E^{(279*k*Pi^2*T)} + \\
 & E^{(300*k*Pi^2*T)} + E^{(319*k*Pi^2*T)} + E^{(336*k*Pi^2*T)} + \\
 & E^{(351*k*Pi^2*T)} + E^{(364*k*Pi^2*T)} + E^{(375*k*Pi^2*T)} + \\
 & E^{(384*k*Pi^2*T)} + E^{(391*k*Pi^2*T)} + E^{(396*k*Pi^2*T)} + \\
 & E^{(399*k*Pi^2*T)})*T)/E^{(400*k*Pi^2*T)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d^2R/dk^2 = & (6*(400 + 361*E^{(39*k*Pi^2*T)} + 324*E^{(76*k*Pi^2*T)} + \\
 & 289*E^{(111*k*Pi^2*T)} + 256*E^{(144*k*Pi^2*T)} + 225*E^{(175*k*Pi^2*T)} + \\
 & 196*E^{(204*k*Pi^2*T)} + 169*E^{(231*k*Pi^2*T)} + 144*E^{(256*k*Pi^2*T)} + \\
 & 121*E^{(279*k*Pi^2*T)} + 100*E^{(300*k*Pi^2*T)} + 81*E^{(319*k*Pi^2*T)} + \\
 & 64*E^{(336*k*Pi^2*T)} + 49*E^{(351*k*Pi^2*T)} + 36*E^{(364*k*Pi^2*T)} + \\
 & 25*E^{(375*k*Pi^2*T)} + 16*E^{(384*k*Pi^2*T)} + 9*E^{(391*k*Pi^2*T)} + \\
 & 4*E^{(396*k*Pi^2*T)} + E^{(399*k*Pi^2*T)})*Pi^2*T^2)/E^{(400*k*Pi^2*T)}
 \end{aligned}$$

### ANEXO 3

Programa do SAS utilizado para o cálculo do parâmetro k com 20 termos da série.

```
OPTIONS LS=80;  
PROC NLIN;  
by Teste;  
PARMS K=0.01;
```

```
MODEL r = (6*(1/(400*exp(400*k*3.1416**2*T)) + 1/(361*exp(361*k*3.1416**2*T)) +  
1/(324*exp(324*k*3.1416**2*T)) + 1/(289*exp(289*k*3.1416**2*T)) +  
1/(256*exp(256*k*3.1416**2*T)) + 1/(225*exp(225*k*3.1416**2*T)) +  
1/(196*exp(196*k*3.1416**2*T)) + 1/(169*exp(169*k*3.1416**2*T)) +  
1/(144*exp(144*k*3.1416**2*T)) + 1/(121*exp(121*k*3.1416**2*T)) +  
1/(100*exp(100*k*3.1416**2*T)) + 1/(81*exp(81*k*3.1416**2*T)) +  
1/(64*exp(64*k*3.1416**2*T)) + 1/(49*exp(49*k*3.1416**2*T)) +  
1/(36*exp(36*k*3.1416**2*T)) + 1/(25*exp(25*k*3.1416**2*T)) +  
1/(16*exp(16*k*3.1416**2*T)) + 1/(9*exp(9*k*3.1416**2*T)) +  
1/(4*exp(4*k*3.1416**2*T)) + exp(-(k*3.1416**2*T)))/3.1416**2;
```

```
DER.K = (-6*(1 + exp(39*k*3.1416**2*T) + exp(76*k*3.1416**2*T) +  
exp(111*k*3.1416**2*T) + exp(144*k*3.1416**2*T) + exp(175*k*3.1416**2*T) +  
exp(204*k*3.1416**2*T) + exp(231*k*3.1416**2*T) + exp(256*k*3.1416**2*T) +  
exp(279*k*3.1416**2*T) + exp(300*k*3.1416**2*T) + exp(319*k*3.1416**2*T) +  
exp(336*k*3.1416**2*T) + exp(351*k*3.1416**2*T) + exp(364*k*3.1416**2*T) +  
exp(375*k*3.1416**2*T) + exp(384*k*3.1416**2*T) + exp(391*k*3.1416**2*T) +  
exp(396*k*3.1416**2*T) + exp(399*k*3.1416**2*T))*T)/exp(400*k*3.1416**2*T);
```

```

DER.K.K = (6*(400 + 361*exp(39*k*3.1416**2*T) + 324*exp(76*k*3.1416**2*T) +
289*exp(111*k*3.1416**2*T) + 256*exp(144*k*3.1416**2*T) +
225*exp(175*k*3.1416**2*T) + 196*exp(204*k*3.1416**2*T) +
169*exp(231*k*3.1416**2*T) + 144*exp(256*k*3.1416**2*T) +
121*exp(279*k*3.1416**2*T) + 100*exp(300*k*3.1416**2*T) +
81*exp(319*k*3.1416**2*T) + 64*exp(336*k*3.1416**2*T) +
49*exp(351*k*3.1416**2*T) + 36*exp(364*k*3.1416**2*T) +
25*exp(375*k*3.1416**2*T) + 16*exp(384*k*3.1416**2*T) +
9*exp(391*k*3.1416**2*T) + 4*exp(396*k*3.1416**2*T) +
exp(399*k*3.1416**2*T))*3.1416**2*T**2)/exp(400*k*3.1416**2*T);

```

```

TITLE ' CÁLCULO DO PARÂMETRO K 20 TERMOS';

```

```

RUN;

```

## ANEXO 4

Dados experimentais de temperatura do ar, temperatura e umidade do grão obtidos em cada uma das 24 corridas experimentais.

Tabela A1 - Temperatura e umidade dos grãos na corrida experimental 1.

UR ar (%)	T. amb (°C)	T.Grão ent. (°C)	U.Grão ent. (%)	T.Grão said. (%)	U.Grão said. (%)	T.megometro (°C)
84	28	20,2	23,2			27
		27,9	22,6	28,4	22,6	27
		29,2	21,4	29,5	21,2	27
74	30	29,8	20,2	30,1	20,6	27,5
		30,3	19,6	30,6	19,8	27,5
73	30	30,9	18,8	31,1	18,8	27
		31,3	18,3	31,4	18,1	27
		32	18,3	32,1	18,3	27,5
84	30	31,7	18,2	32,1	18,3	27,5
		32	17,3	32,3	17,2	27,5
84	30	31,8	16,5	32,4	16,4	27,5
		32,1	16,4	32,4	32,2	27,5
82	30	32,8	15,9	33,1	15,9	28
		33,3	15,8	33,5	15,7	28,5
78	31	33,6	15,3	33,9	15,35	29
		33,9	15,2	34,3	15,2	29
76	31	34,2	14,75	34,6	14,8	29,5
		34,4	14,45	34,7	14,45	30
76	32	34,4	14,5	34,7	14,4	29,5
		34,4	14,1	34,7	14,1	29,5
74	32	34,6	14,1	34,8	14,2	30
		34,5	14,1	34,8	13,9	30
		34,7	14,1	34,9	13,85	30
72	32	34,6	13,78	34,8	13,85	30
		34,7	13,65	35,1	13,6	30,5
70	32,5	35	13,65	35,3	13,65	30,5
		35,1	13,52	35,4	13,5	30,8

Tabela A2 - Temperatura do ar (°C) lida por cada temopar para a corrida experimental 1

T.amb	TP3	TP4	TP5	TP6	TP7	TP8	TP9	TP10	TP11	TP12	TP13	TP14	TP15	TP16	TP17	TP18	TP19	TP20
24,8	27,7	27,9	28,3	27	27,1	27	27,2	26,9	27,1	27	27,1	27,6	28,3	27,2	27,2	27,3	27,4	27,7
24,3	28,4	28,4	28,8	27,9	28	27,8	27,9	27,8	28	27,9	27,9	28,4	28,8	28	28,2	27,9	28,3	28,5
24,6	29,4	29,4	29,9	28,9	28,9	28,7	28,9	28,7	29	28,9	29,1	29,4	29,8	29	29,3	28,9	29,4	29,4
24,9	30,1	30,1	30,6	29,6	29,6	29,4	29,5	29,4	29,7	29,5	29,7	29,9	30,4	29,7	30,1	29,4	30,1	29,8
25,3	30,8	30,8	31,3	30,3	30,3	30,1	30,3	30,1	30,4	30,2	30,4	30,6	31,1	30,4	30,8	30,2	30,7	30,5
25,3	31,3	31,3	31,7	30,8	30,8	30,6	30,8	30,6	30,9	30,6	30,9	30,9	31,5	30,9	31,2	30,7	31,2	30,9
25,1	31,9	31,8	32,2	31,3	31,2	31,1	31,2	31	31,4	31,1	31,4	31,3	31,9	31,4	31,7	31,1	31,6	31,3
25,2	32,4	32,3	32,8	31,8	31,8	31,6	31,8	31,5	31,9	31,6	31,8	31,8	32,4	31,9	32,2	31,6	32,1	31,7
25,1	32,1	32,2	31,9	31,9	32,5	32,7	32,9	32,3	32,2	32,2	31,5	32,7	35,8	32,2	31,6	29,9	29,7	30,4
25	32,4	32,4	32,9	32	32,1	31,8	32,1	31,9	32,1	31,8	32,1	32,4	33,1	32,1	32,4	31,6	32,3	32,1
25,3	32,7	32,6	32,1	32,2	32,2	31,9	32,3	31,9	32,2	32	32,2	32,5	33,1	32,3	32,6	31,7	32,3	32,1
24,9	32,9	32,9	33,2	32,3	32,4	32,1	32,4	32,1	32,5	32,2	32,4	32,6	33,2	32,5	32,8	31,9	32,6	32,2
25,7	33,4	33,3	33,8	32,8	32,8	32,6	32,9	32,6	33	32,7	33	31,1	33,9	33,1	33,3	32,5	32,1	32,8
25,4	33,8	33,8	34,3	33,3	33,4	33,2	33,4	33,2	33,5	33,2	33,4	33,7	33,3	33,5	33,8	32,9	33,5	32,2
25,7	34,3	34,3	34,3	33,7	33,8	33,6	33,8	33,5	33,9	33,6	33,8	34,1	34,7	33,9	34,2	33,3	34	33,6
25,7	34,6	34,7	35,1	34,1	34,1	33,9	34,2	33,8	34,2	33,9	34,2	34,3	35,1	34,3	34,5	33,6	34,3	33,9
26,1	35	35,1	35,7	34,4	34,4	34,2	34,5	34,2	34,6	34,3	34,5	34,7	35,3	34,5	34,8	34,1	34,5	34,1
26,4	35,3	35,3	36	34,6	34,7	34,4	34,8	34,4	34,8	34,4	34,7	34,8	35,5	34,7	35,1	34,1	34,7	34,2
26,2	35,3	35,4	35,8	34,7	34,8	34,5	34,7	34,4	34,8	34,6	34,8	34,7	35,4	34,7	35	33,9	34,7	33,9
26,1	35,4	35,6	36,2	34,7	34,8	34,4	34,8	34,6	34,8	34,6	34,7	34,7	35,4	34,8	35,1	34,2	34,8	34,1
26,8	35,6	35,8	36,5	34,8	34,9	34,7	34,9	34,6	35	34,7	34,9	34,8	35,6	35	35,3	34,2	34,9	34,1
26,4	35,6	35,9	36,8	34,8	35	34,6	35	34,6	35	34,7	34,8	34,8	35,6	34,9	35,3	34	34,8	33,9
26,6	35,9	36	36,8	34,9	35	34,7	35,1	34,7	35	34,7	35	34,7	35,6	35	35,3	34,5	35,1	34,2
26,2	36,1	36,4	37,3	35	35,1	34,8	35,1	34,8	35,1	34,8	35,1	34,8	35,7	35,1	35,4	34,2	34,9	34,1
26,3	36,2	36,4	37,3	35,1	35,2	34,9	35,2	35	35,2	34,9	35,2	34,9	35,8	35,3	35,6	34,2	35,1	34,2
26,6	36,5	36,9	37,8	35,3	35,4	35,1	35,4	35,2	35,4	35,2	35,5	35,3	36,2	35,4	35,8	34,3	35,2	34,1
26,3	36,7	37,2	38,3	35,4	35,5	35,3	35,6	35,2	35,6	35,3	35,6	35,4	36,2	35,6	35,8	34,3	35,3	34,4

Tabela A3 - Temperatura e umidade dos grãos na corrida experimental 2.

UR ar (%)	T. amb (°C)	T.Grão ent. (°C)	U.Grão ent. (%)	T.Grão said. (%)	U.Grão said. (%)	T.megometro (°C)
64	30,5	27,6	25,3			25
		30,1	20,7	29,9	21	29
60	32	31,1	18,8	30,9	18,8	30
		31,8	18	31,7	18,2	30
58	33	32,4	17	32,4	17	31
		32,9	16,2	33	15,8	31
56	34	33,5	15,5	33,5	15,2	31
		34,1	14,75	34	14,8	31,5
54	34	34,5	14,2	34,6	14,3	32
		35,1	13,9	35,1	14,1	32,5
52	34	35,2	13,9	35,1	13,9	32,5

Tabela A4 - Temperatura do ar (°C) lida por cada temopar para a corrida experimental 2.

T.amb	TP3	TP4	TP5	TP6	TP7	TP8	TP9	TP10	TP11	TP12	TP13	TP14	TP15	TP16	TP17	TP18	TP19	TP20
28,9	29,9	30,1	30,4	29,5	29,4	29,4	29,4	29,4	29,6	29,6	29,7	30,3	30,7	29,8	29,9	29,6	29,9	30,3
29,5	30,9	30,9	31,2	30,4	30,3	30,3	30,3	30,3	30,6	30,3	30,6	31,1	31,4	31,7	30,9	30,3	30,8	31
29,6	31,8	31,8	32,3	31,3	31,2	31,1	31,2	31,2	31,4	31,2	31,5	31,8	32,2	31,6	31,9	31,2	31,7	31,8
30,7	32,6	32,6	33	32,1	32,1	31,9	32,1	31,9	32,3	32,1	32,3	32,5	33	32,4	32,8	31,9	32,6	32,3
30,1	33,2	33,2	33,6	32,7	32,7	32,5	32,6	32,6	32,8	32,6	32,9	32,9	33,5	33	33,4	32,6	33,1	32,8
30,2	33,8	33,8	34,2	33,3	33,3	33,1	33,3	33,2	33,4	33,2	33,4	33,3	34,1	33,7	33,9	33,1	33,6	33,3
31,4	34,5	34,4	34,9	33,9	33,8	33,7	33,8	33,7	34,1	33,8	34,1	33,9	34,6	34,2	34,6	33,8	34,3	33,7
30,9	34,9	34,8	35,3	34,4	34,4	34,2	34,5	34,2	34,6	34,3	34,6	34,4	35,1	34,7	35,1	34,1	34,7	34,2
32,2	35,5	35,4	36	34,9	34,9	34,8	35,1	34,8	35,2	34,8	35,1	34,9	35,7	35,2	35,6	34,9	35,3	34,7
31,7	35,8	35,6	36,3	35,2	35,2	35	35,3	35	35,3	35,1	35,3	35,2	35,9	35,4	35,8	34,8	35,4	34,7



Tabela A5 - Temperatura e umidade dos grãos na corrida experimental 3.

UR ar (%)	T. amb (°C)	T.Grão ent. (°C)	U.Grão ent. (%)	T.Grão said. (%)	U.Grão said. (%)	T.megometro (°C)
74	30	23	21,1			25,5
		31,3	19,4	31,6	18,8	26,5
66	31,8	32,7	17,6	32,9	17,5	27,5
		33,6	16,1	33,8	16	28,5
62	32	34,5	15,5	34,9	15,6	29,5
		35	14,5	35,3	14,55	30
58	32,2	35,5	14	35,8	13,85	30,5
		35,9	13,45	36,2	13,3	31

Tabela A6 - Temperatura do ar (°C) lida por cada tempar para a corrida experimental 3.

T.amb	TP3	TP4	TP5	TP6	TP7	TP8	TP9	TP10	TP11	TP12	TP13	TP14	TP15	TP16	TP17	TP18	TP19	TP20
29,6	29,3	29,7	30,2	28,6	28,6	28,5	28,5	28,6	28,7	28,7	28,7	29,9	31,3	29,2	28,9	29,2	29,2	30,2
31	31,2	31,4	32,3	30,8	30,7	30,7	30,5	30,6	30,9	30,7	30,8	31,9	32,8	31,3	31,4	31	31,3	32,2
30,9	32,4	32,7	33,4	31,9	31,9	31,9	31,7	31,8	32,2	32,1	32,2	33,1	33,6	32,3	32,6	32,1	32,5	33,3
31,4	33,4	33,6	34,1	32,8	32,9	32,7	32,8	32,8	33,2	32,9	33,3	34	34,6	33,3	33,6	33,1	33,5	34
31,3	34,4	34,6	35,4	33,8	33,8	33,6	33,8	33,6	34,1	33,8	34,1	34,7	35,4	34,2	34,5	33,8	34,3	34,7
32,1	34,9	35,1	35,9	34,2	34,3	34,1	34,3	34,1	34,7	34,4	34,7	35,1	35,8	34,7	35,1	34,3	34,8	35,1
32,6	35,6	35,7	36,7	35,1	35,1	34,8	34,9	34,8	35,3	35,1	35,3	35,8	36,4	35,3	35,7	34,9	35,6	35,7
32,7	36,1	36,3	37,2	35,5	35,5	35,3	35,4	35,3	35,7	35,5	35,8	36,2	36,8	35,8	36,2	35,4	36,1	36,1

Tabela A7 - Temperatura e umidade dos grãos na corrida experimental 4.

UR ar (%)	T. amb (°C)	T.Grão ent. (°C)	U.Grão ent. (%)	T.Grão said. (%)	U.Grão said. (%)	T.megometro (°C)
70,5	31,5	20	22,2			27
		30,4	21	30,2	20,8	27,5
69	32	32	19,4	31,7	19,2	28,3
		32,6	18,4	32,7	18,2	29
68	32	33,3	16,8	33,3	17,4	29,3
		33,8	16,7	34,1	16	29,8
67	32,5	34,5	15,5	34,6	15,8	30
		34,8	14,9	34,9	15	30,5
66	33	35,1	14,7	35,5	14,75	30,8
		35,6	14,3	35,8	14,3	31
62	33,5	36,1	13,95	36,1	13,75	31,5
		36,5	13,6	36,5	13,5	31,8

Tabela A8 - Temperatura do ar (°C) lida por cada tempo para a corrida experimental 4.

T.amb	TP3	TP4	TP5	TP6	TP7	TP8	TP9	TP10	TP11	TP12	TP13	TP14	TP15	TP16	TP17	TP18	TP19	TP20
31,2	30,7	30,9	31,5	30,2	30,1	30,2	30,1	30,2	30,3	30,3	30,4	31,3	32,1	30,7	30,7	30,7	31	31,4
31,6	31,7	31,9	32,8	31,3	31,3	31,2	31,2	31,2	31,4	31,3	31,4	32,2	32,8	31,7	31,8	31,5	31,9	32,3
32,2	32,4	32,6	33,2	32,1	32,1	31,9	31,9	32	32,3	32,1	32,3	32,8	33,5	32,5	32,7	32,2	32,7	32,9
31,7	33,3	33,3	34,1	32,7	32,8	32,6	32,6	32,6	33	32,7	33	33,4	33,9	33,1	33,4	32,9	33,3	33,6
31,4	33,9	34	34,7	33,4	33,3	33,2	33,3	33,3	33,6	33,3	33,6	33,9	34,7	33,7	34,1	33,8	34	34,1
32,1	34,5	34,6	35,2	34	34,1	33,8	33,9	33,8	34,2	33,8	34,2	34,4	35,3	34,4	34,7	34	34,6	34,4
32,5	35,1	34,9	35,7	34,4	34,4	34,3	34,3	34,3	34,6	34,3	34,5	34,6	35,6	34,7	35,1	34,4	34,9	34,8
32,7	35,4	35,5	36,1	34,9	34,8	34,7	34,8	34,7	35,1	34,8	35	35,2	36,1	35,2	35,5	34,8	35,4	35,1
33,7	35,9	35,8	36,7	35,2	35,4	35,1	35,3	35,2	35,4	35,2	35,4	35,7	36,5	35,7	36	35,2	35,8	35,6
33,9	36,3	36,2	36,9	35,7	35,8	35,6	35,8	35,6	35,9	35,6	35,9	36	36,9	36	36,3	36,8	36,3	36
34,3	36,8	36,8	37,4	36,1	36,2	35,9	36,3	36	36,4	36,1	36,3	36,4	37,3	36,4	36,8	36,2	36,7	36,3
33,5	36,9	36,9	37,7	36,3	36,3	36,1	36,3	36,1	36,5	36,1	36,4	36,6	37,4	36,7	36,9	36,3	36,8	36,7

Tabela A9 - Temperatura e umidade dos grãos na corrida experimental 5.

UR ar (%)	T. amb (°C)	T.Grão ent. (°C)	U.Grão ent. (%)	T.Grão said. (%)	U.Grão said. (%)	T.megometro (°C)
80	29	27,2	25,2			25
		27,6	22,6	27	23	25,7
79	29	28,4	22	28,3	22,4	27
		29,3	20,5	29,2	20,2	28
74	30	30,1	19,2	29,9	18,8	27,5
		30,8	18,6	30,6	18,7	28
72	31	31,2	17,75	31,1	17,5	28,5
		31,7	16,9	31,7	16,8	29
70	32	32,1	16,25	32,1	16,6	29
		32,1	15,4	32,2	15,55	29
66,5	32	32,5	15,3	32,4	15,4	29,5
		32,9	15,15	32,9	15	30
64,5	32,5	33,2	14,7	33,2	14,5	30
		33,5	14,45	33,5	14,4	30,5
62	33	33,8	14,15	33,7	14,2	30,5
		34,1	14	34,1	13,95	31
61	33,5	34,2	13,8	34,3	13,8	31
		34,7	13,9	34,4	13,6	31,1
58	34	34,7	13,35	34,7	13,5	31,2

Tabela A10 - Temperatura do ar (°C) lida por cada tempoar para a corrida experimental 5.

T.amb	TP3	TP4	TP5	TP6	TP7	TP8	TP9	TP10	TP11	TP12	TP13	TP14	TP15	TP16	TP17	TP18	TP19	TP20
27,5	27,3	27,4	27,8	26,9	26,9	26,8	26,9	26,9	26,9	26,9	27	27,6	28,1	27,2	27,2	27	27,3	27,7
27,6	28,3	28,3	28,7	27,9	27,9	27,8	27,8	27,8	28,1	27,9	28,1	28,5	28,9	28,1	28,3	27,9	28,4	28,6
27,7	29,3	29,2	29,7	28,9	28,9	28,8	28,8	28,8	29,1	28,8	29,1	29,3	29,9	29,1	29,4	28,9	29,4	29,4
28,3	30,1	30	30,4	29,7	29,7	29,5	29,7	29,5	29,8	29,6	29,8	29,8	30,3	29,8	30,2	29,6	30,2	30
28,9	30,8	30,7	31,2	30,4	30,4	30,2	30,4	30,3	30,6	30,3	30,7	30,6	31,1	30,6	30,9	30,3	30,9	30,6
29,2	31,4	31,3	31,8	31,1	31,1	30,8	31	30,8	31,2	30,9	31,2	31,2	31,6	31,2	31,6	30,9	31,5	31
29,2	32,1	32	32,3	31,7	31,7	31,4	31,6	31,4	31,9	31,6	31,9	31,7	32,1	31,7	32,1	31,4	32,1	31,4
29,9	32,5	32,4	32,7	32,1	32,1	31,9	32,1	31,9	32,3	31,9	32,3	32	32,6	32,3	32,6	31,9	32,5	31,8
30,1	32,9	32,7	33	32,4	32,5	32,2	32,4	32,2	32,6	32,3	32,6	32,3	32,7	32,5	32,8	32,1	32,7	31,9
30,2	33,2	33	33,3	32,7	32,8	32,5	32,7	32,4	32,9	32,6	32,9	32,5	33,1	32,9	33,2	32,4	33,1	32,1
29,5	33,6	33,5	33,8	33,2	33,2	32,9	33,1	32,9	33,3	33	33,4	33,1	33,7	33,3	33,7	33	33,6	32,7
30,3	34	33,8	34,1	33,6	33,6	33,4	33,6	33,4	33,8	33,4	33,8	33,3	33,9	33,8	34,1	33,3	34	33
31,2	34,3	34,1	34,3	33,8	33,8	33,6	33,9	33,6	34	33,7	34	33,6	34,2	33,9	34,3	33,5	34,1	33,1
31	34,6	34,3	34,7	34,2	34,1	33,9	34,2	33,9	34,3	34,1	34,3	33,8	34,6	34,3	34,6	34,4	34,4	33,5
30,9	34,9	34,8	35,1	34,4	34,4	34,2	34,4	34,2	34,6	34,3	34,6	34,2	34,8	34,6	34,9	34,1	34,7	33,7
31,3	35,1	34,9	35,3	34,6	34,7	34,4	34,7	34,4	34,8	34,6	34,8	34,4	35	34,7	35,2	34,3	34,9	33,8
31,4	35,3	35,1	35,6	34,8	35	34,7	34,9	34,6	35	34,8	35,1	34,6	35,2	35,1	35,4	35,1	35,1	34,2
31,9	35,6	35,3	35,6	35,1	35,1	34,9	35,2	34,9	35,3	34,9	35,3	34,7	35,6	35,3	35,6	34,7	35,5	34,3
31,8	35,9	35,8	36,1	35,4	35,4	35,3	35,6	35,3	35,7	35,3	35,7	35,3	36	35,6	36	35,1	35,7	34,8

Tabela A11 - Temperatura e umidade dos grãos na corrida experimental 6.

UR ar (%)	T. amb (°C)	T.Grão ent. (°C)	U.Grão ent. (%)	T.Grão said. (%)	U.Grão said. (%)	T.megometro (°C)
72	30	27,1	22,2			26
		28,5	22	27,9	22	26,5
70	31	29,6	20,4	29,5	20,8	27
		30,4	18,9	30,3	18,8	27,5
68	31,5	31,1	18,2	31,1	17,8	28
		31,8	16,9	31,8	16,9	28,8
67	32	32,2	16,3	32,2	16,6	29
		32,4	15,9	32,5	15,8	29,5
65	32,5	32,9	15,6	33,1	15,2	30
		33,2	14,9	33,3	14,7	30
62	33	33,6	14,75	33,6	14,4	30,5
		33,8	14,25	33,8	14,3	30,5
61	33,8	34,2	14,05	34,3	14,1	31
		34,5	13,85	34,6	13,75	31
60	34	34,6	13,5	34,7	13,7	31

Tabela A12 - Temperatura do ar (°C) lida por cada tempoar para a corrida experimental 6.

T.amb	TP3	TP4	TP5	TP6	TP7	TP8	TP9	TP10	TP11	TP12	TP13	TP14	TP15	TP16	TP17	TP18	TP19	TP20
28,5	28,3	28,3	28,6	28,1	28,1	28	28,1	28,1	28,2	28,1	28,2	28,8	29,6	28,5	28,5	28,3	28,6	28,9
28,9	29,6	29,4	29,7	29,2	29,3	29,3	29,3	29,2	29,4	29,2	29,4	29,8	30,4	29,6	29,7	29,4	29,7	30
28,7	30,3	30,2	30,4	30,1	30,1	29,8	30,1	29,9	30,2	29,8	30,2	30,3	30,9	30,3	30,6	30,1	30,6	30,6
28,9	31,2	31,1	31,5	30,9	30,9	30,7	30,9	30,7	31	30,7	31,1	31,1	31,7	31,1	31,5	30,8	31,4	31,2
29,5	32	31,8	32,2	31,7	31,7	31,4	31,6	31,5	31,8	31,5	31,9	31,8	32,4	31,9	32,2	31,6	32,2	31,8
29,5	32,6	32,4	32,8	32,2	32,2	31,9	32,2	31,9	32,4	32,1	32,4	32,3	32,9	32,3	32,8	32,3	32,7	32,2
30	33	32,8	33,1	32,6	32,6	32,3	32,6	32,3	32,8	32,5	32,8	32,5	33,2	32,7	33,1	32,4	33	32,4
30,6	33,6	33,4	33,8	33,2	33,2	32,9	33,2	32,9	33,3	33	33,3	33,1	33,7	33,4	33,7	33,2	33,6	32,9
30,3	33,8	33,7	34,1	33,5	33,5	33,3	33,5	33,2	33,7	33,4	33,7	33,3	34	33,7	34,1	33,3	33,9	33,1
30,6	34,2	34	34,4	33,8	33,9	33,6	33,9	33,6	34	33,8	34	33,7	34,3	34,1	34,3	33,7	34,4	33,5
30,4	34,4	34,3	34,6	34,1	34,1	33,8	34,1	33,8	34,2	33,9	34,3	33,8	34,6	34,2	34,6	33,8	34,6	33,5
31	34,9	34,8	35,1	34,4	34,4	34,2	34,7	34,2	34,7	34,3	34,7	34,3	35,1	34,7	35,1	34,3	34,9	34,1
30,9	35,3	35,1	35,5	34,8	34,8	34,7	34,9	34,7	35,1	34,7	35,1	34,7	35,3	35,1	35,4	34,7	35,2	34,3
31,3	35,4	35,3	35,6	35	35	34,8	35,1	34,9	35,2	34,9	35,1	34,8	35,4	35,2	35,5	34,7	35,3	34,3
31,6	35,6	35,4	35,9	35,1	35,2	35	35,2	34,9	35,3	35,1	35,3	34,9	35,6	35,3	35,7	34,8	35,5	34,5



Tabela A13 - Temperatura e umidade dos grãos na corrida experimental 7.

UR ar (%)	T. amb (°C)	T.Grão ent. (°C)	U.Grão ent. (%)	T.Grão said. (%)	U Grão said. (%)	T.megometro (°C)
90	30	27,8	25,6			27
		28,5	22,6	28,2	22,7	28
81	31	28,8	21,2	28,8	21,6	28
		29,4	19,8	29,3	20,8	28,5
82	31,2	29,9	19,3	29,9	19,4	28,5
		30,6	18,6	30,4	18,6	29
78	32	31,2	18	31,2	18,2	29,5
		31,7	17,7	31,6	17,7	30
70	32,8	32	17,5	31,9	17,5	30
		32,4	17,2	32,4	17,1	30
68	33	32,7	16,7	32,7	16,8	30
		32,9	16,7	32,9	16,45	30
69	33	33,3	16,3	33,2	16,2	30,5
		33,5	15,7	33,4	15,6	31
66,5	33,5	33,6	15,6	33,7	15,5	31
		34,1	15,1	34,1	14,8	31,5
61	34	34,3	14,7	34,3	14,7	31,5
		34,5	14,3	34,6	14,2	31,5
59,5	34	34,4	13,55	34,4	13,9	31,5
		34,4	13,28	34,4	13,68	31,5

Tabela A14 - Temperatura do ar (°C) lida por cada tempoar para a corrida experimental 7.

T.amb	TP3	TP4	TP5	TP6	TP7	TP8	TP9	TP10	TP11	TP12	TP13	TP14	TP15	TP16	TP17	TP18	TP19	TP20
27,9	28,4	28,9	29,5	27,7	27,9	27,7	27,8	27,7	27,8	27,2	27,8	28,1	28,2	27,7	27,8	28	28,3	28,4
28,1	28,9	29	29,7	28,3	28,5	28,3	28,4	28,3	28,4	28,1	28,4	28,4	28,6	28,2	28,4	28,6	29	28,7
27,8	29,6	29,7	30,5	29	29,1	28,9	28,9	28,8	29,2	28,7	29	28,8	29	28,7	29	29,1	29,6	29,1
28,4	30,3	30,3	31	29,8	29,9	29,7	29,6	29,4	29,8	29,5	29,8	29,4	29,8	29,6	29,9	29,8	30,4	29,7
28,7	30,8	30,9	31,4	30,3	30,6	30,2	30,2	29,9	30,4	30,2	30,4	30	30,6	30,4	30,6	30,3	30,9	30,1
29,1	31,5	31,5	32,1	31	31,2	30,8	30,8	30,7	31,2	30,8	31,2	30,7	31,3	31,2	31,5	31	31,6	30,8
29,4	32,1	32,2	32,8	31,7	31,9	31,6	31,2	31,3	31,7	31,6	31,8	31,4	32	31,8	32,2	31,7	32,3	31,3
29,2	32,5	32,4	33,1	32,1	32,3	31,9	31,7	31,7	32,3	31,9	32,3	31,7	32,4	32,3	32,6	32,1	32,6	31,7
29,8	33	32,9	33,4	32,5	32,6	32,3	32,1	32,2	32,6	32,3	32,6	31,8	32,7	32,7	33,1	32,4	33,1	32,2
29,3	33,2	33,2	33,7	32,7	32,7	32,6	32,3	32,4	32,9	32,6	32,8	32,1	32,9	32,9	33,2	32,6	33,3	32,3
29,6	33,6	33,6	34,3	33,1	33,1	32,8	32,8	32,8	33,2	32,9	33,3	32,6	33,3	33,2	33,6	33	33,6	32,5
29,9	34	34,1	34,7	33,4	33,5	33,3	33,3	33,1	33,6	33,3	33,5	32,9	33,8	33,6	34	33,5	34	32,9
30,3	34,2	34,2	34,8	33,7	33,7	33,4	33,5	33,3	33,8	33,6	33,9	33,4	34	33,8	34,2	33,6	34,2	33,1
29,9	34,6	34,6	35,2	34	34	33,8	33,7	33,7	34,2	33,8	34,2	33,7	34,4	34,1	34,6	33,8	34,4	33,5
30,6	34,9	34,8	35,4	34,3	34,3	34,1	34,2	34,1	34,4	34,2	34,5	34,1	34,7	34,5	34,9	34,2	34,8	33,8
30,6	35,1	35,1	35,8	34,6	34,6	34,3	34,4	34,2	34,7	34,6	34,8	34,4	34,9	34,7	35,1	34,4	35,1	34
30,5	35,4	35,4	36	34,7	34,8	34,6	34,6	34,4	34,9	34,8	35,1	34,6	35,2	35	35,4	34,6	35,3	34,3
29,9	35,4	35,4	36,4	34,7	34,7	34,6	34,7	34,4	34,9	34,8	35,1	34,6	35,1	34,9	35,3	34,5	35,2	34,1
29,9	35,4	35,6	36,6	34,6	34,7	34,5	34,5	34,3	34,8	34,6	34,9	34,3	34,9	34,8	34,5	34,4	35,1	33,9
29,5	35,4	35,5	36,2	34,6	34,7	34,4	34,6	34,3	34,8	34,5	34,8	34,2	34,9	34,8	35,2	34,3	35	33,9

Tabela A15 - Temperatura e umidade dos grãos na corrida experimental 8.

UR ar (%)	T. amb. (°C)	T.Grão ent. (°C)	U.Grão ent. (%)	T.Grão said. (%)	U.Grão said. (%)	T.megometro (°C)
72	28	25,3	30,2			25
		25,1	25	25,3	25	25,5
71	29	26	23	26,1	22,9	25,9
		26,7	22,3	26,6	21,7	26
71	29	26,9	20,7	26,9	20,6	26
		27,6	20,1	27,5	19,2	26,5
69,5	29,8	28,1	19,3	28,1	18,5	26,9
		28,7	18,6	28,7	18,4	27
68,5	29,9	28,9	17,9	28,9	17,85	27,1
		29,3	17,8	29,4	17,45	27,5
68	30	29,6	17,1	29,6	16,8	27,8
		29,6	16,8	29,6	16,35	27,8
68	30	29,6	16,3	29,7	16,05	27,8
		30,2	15,95	30,1	15,7	27,8
67	30,2	30,7	15,55	30,6	15,4	28
		30,7	15	30,7	15	28
66	30,2	30,7	14,9	30,7	14,66	28
		31	14,9	31	14,8	28
66	30,2	31,1	14,5	31,2	14,35	28
		31,3	14,3	31,3	14,2	28,5
67	30,2	31,2	14,25	31,3	14,3	28,5
		31,3	14,35	31,4	14,35	29
66	30,2	31,3	14,1	31,4	14,1	28,9
		31,2	13,95	31,3	14,05	29
65,8	30,2	31,3	13,92	31,4	13,9	29
		31,3	13,9	31,4	13,7	29

Tabela A16 - Temperatura do ar (°C) lida por cada tempoar para a corrida experimental 8.

T.amb	TP3	TP4	TP5	TP6	TP7	TP8	TP9	TP10	TP11	TP12	TP13	TP14	TP15	TP16	TP17	TP18	TP19	TP20
24,6	25,4	25,8	26,6	24,4	24,4	24,3	24,5	24,3	24,4	24,3	24,5	24,7	24,9	24,3	24,3	24,8	25	25,1
24,7	26,1	26,3	27,2	25,4	25,5	25,3	25,3	25,2	25,4	25,3	25,5	25,6	25,6	25,1	25,4	25,6	25,9	25,9
24,6	26,9	27	27,7	26,3	26,3	26,1	26,3	26,1	26,3	26,2	26,4	26,2	26,4	25,9	26,2	26,3	26,8	26,6
25,3	27,3	27,3	27,8	26,8	26,9	26,6	26,8	26,5	26,8	26,7	26,9	26,6	27,1	26,8	27,1	26,8	27,2	26,7
24,8	27,9	27,8	28,2	27,4	27,4	27,2	27,3	27,1	27,4	27,3	27,4	27,2	27,7	27,6	27,8	27,4	27,9	27,3
25,9	28,6	28,6	29,2	28,1	28,1	27,8	27,9	27,6	28,1	27,9	28,1	27,7	28,4	28,2	28,5	28	28,5	27,8
25,3	29,2	29,1	29,6	28,5	28,6	28,4	28,5	28,2	28,7	28,3	28,6	27,9	28,9	28,7	29,1	28,6	29,1	28,3
25,4	29,4	29,4	29,9	28,8	28,9	28,6	28,8	28,5	29	28,6	28,8	27,9	29,2	28,9	29,4	28,7	29,3	28,6
25,7	30	29,9	30,4	29,4	29,4	29,2	29,3	29,1	29,5	29,1	29,4	28,6	29,8	29,5	29,9	29,2	29,8	29
25,6	30,2	30,2	30,8	29,6	29,7	29,4	29,5	29,3	29,7	29,3	29,6	28,8	29,9	29,7	30,2	29,4	30	29,2
25,1	30,3	30,3	30,8	29,7	29,8	29,4	29,6	29,3	29,7	29,4	29,7	29,1	29,9	29,8	30,1	29,4	29,9	29,2
25,8	30,5	30,4	31,1	29,8	29,8	29,7	29,6	29,4	29,9	29,6	29,9	29,2	30	29,9	30,3	29,5	30,1	29,2
25,9	30,9	30,9	31,4	30,3	30,3	30,1	30,1	29,9	30,3	30,1	30,4	29,7	30,6	30,4	30,8	29,9	30,6	29,8
26,3	31,3	31,4	32	30,8	30,8	30,6	30,6	30,3	30,8	30,6	30,9	30,4	31,1	30,9	31,3	30,3	31	30,3
25,9	31,6	31,7	32,3	30,8	30,9	30,7	30,6	30,5	30,9	30,8	31,1	30,4	31,2	31,1	31,4	30,4	31,1	30,3
26,2	31,7	31,7	32,4	30,8	30,9	30,7	30,6	30,4	31	30,9	31,1	30,5	31,2	31,2	31,4	30,5	31,2	30,3
26,6	32,1	32,3	33,3	31,2	31,2	30,9	30,9	30,8	31,2	31,2	31,4	30,9	31,5	31,3	31,6	30,7	31,4	30,6
25,9	32,2	32,4	33,1	31,2	31,3	31,1	31	30,8	31,3	31,3	31,5	30,9	31,6	31,4	31,7	30,8	31,5	30,7
26,6	32,4	32,6	33,5	31,4	31,4	31,3	31,2	31,2	31,5	31,4	31,7	31,2	31,9	31,6	31,9	31	31,7	31,1
26,4	32,3	32,6	33,2	31,4	31,5	31,2	31,3	31,1	31,5	31,4	31,6	31,2	31,8	31,6	31,9	31,1	31,7	30,9
26,8	32,5	32,7	33,6	31,5	31,6	31,4	31,4	31,2	31,7	31,6	31,7	31,3	32	31,7	32,1	31,1	31,8	31
26,4	32,5	32,8	33,8	31,5	31,6	31,3	31,4	31,3	31,8	31,5	31,7	31,2	31,9	31,7	31,9	31,1	31,7	30,9
26,2	32,7	33,1	34,1	31,6	31,7	31,5	31,6	31,3	31,7	31,4	31,7	31,2	32	31,7	32,1	31	31,7	31
26,2	32,7	32,9	34	31,6	31,8	31,5	31,6	31,4	31,7	31,6	31,7	31,2	32,1	31,8	32,1	31,1	31,8	31
26,3	32,8	33,1	33,9	31,8	31,9	31,6	31,7	31,6	31,9	31,7	31,8	31,3	32,1	31,9	32,2	31	31,9	31,3
25,9	32,8	33	34,3	31,7	31,9	31,5	31,7	31,6	31,8	31,6	31,8	31,2	31,9	31,7	32,1	30,9	31,7	30,9

Tabela A17 - Temperatura e umidade dos grãos na corrida experimental 9.

UR ar (%)	T. amb. (°C)	T.Grão ent. (°C)	U.Grão ent. (%)	T.Grão said. (%)	U.Grão said. (%)	T.megometro (°C)
77,5	28,5	24	27,6			26
		21,8	28,4	21,8	28,4	27
72	29	20	28,1	19,7	29,1	27,5
		19,1	29,4	18,7	30	27,5
72	29,5	17,8	30,4	17,1	30,9	28
		17,1	31,3	15,8	31,7	28
68	30	15,4	31,7	15,5	31,9	28,5
		14,9	32,1	15,2	32,3	28,5
67	30	14,8	32,2	14,1	32,4	29
		14,2	32,5	14,3	32,8	29,5
68	30	13,9	33	13,8	33,1	29,5
		13,8	33	13,5	33,4	29,5
68	30,5	13,6	33,3	13,7	33,6	29,5
		13,5	33,6	13,4	33,9	30
66	31	13,4	33,7	13,2	34,1	30
		13,4	33,8	13,3	34,2	30

Tabela A18 - Temperatura do ar (°C) lida por cada tempoar para a corrida experimental 9.

T,amb	TP3	TP4	TP5	TP6	TP7	TP8	TP9	TP10	TP11	TP12	TP13	TP14	TP15	TP16	TP17	TP18	TP19	TP20
26,9	42,2	42	42,3	37,2	36,2	35,6	35,3	34,8	34,8	32,1	32,1	33,9	37,9	33,7	33,2	31,2	30,4	32,6
25,9	43,2	42,8	42,7	36,5	35,4	34,7	32,3	31,8	31,6	29,4	29,5	30,8	30,9	29,2	29,2	28,8	28,8	29,6
25,7	43,8	43,1	42,9	36,8	35,7	34,9	32,6	32,1	31,8	29,8	29,8	30,7	30,3	29,1	29,3	28,6	28,9	29,4
26	44,1	43,5	43,3	36,3	35,3	34,6	32,6	32	31,9	30,1	30,3	31	30,8	29,6	29,9	29,1	29,7	29,8
26	44,3	43,6	43,4	36,6	35,7	34,9	33,1	32,6	32,4	30,9	31,1	31,7	31,6	30,5	30,7	29,8	30,6	30,7
26,4	44,4	43,8	43,6	36,8	36,2	35,3	33,6	33	33	31,4	31,6	32,1	32,2	31,1	31,4	30,3	31,1	31,1
27,2	44,9	44,1	43,8	37,3	36,5	35,8	33,9	33,3	33,3	31,9	31,9	32,5	32,6	31,5	31,8	30,8	31,6	31,4
26,7	44,8	44,1	43,8	37,4	36,8	35,9	34,2	33,7	33,7	32,3	32,3	32,7	32,8	31,9	32,1	31	31,9	31,7
27,2	45,1	44,3	44,1	37,7	36,9	36,1	34,4	33,9	33,8	32,4	32,6	32,8	32,9	32,1	32,4	31,3	32,2	31,8
27,3	45,3	44,4	44,1	38,1	37,3	36,4	34,8	34,3	34,3	32,8	33	33,2	33,3	32,5	32,8	31,6	32,6	32,1
27,4	45,4	44,6	44,3	38,3	37,7	36,8	35,1	34,6	34,6	33,2	33,3	33,4	33,7	32,8	33,1	31,9	32,8	32,3
27,2	45,8	44,8	44,6	38,6	37,8	37	35,3	34,8	34,8	33,4	33,6	33,8	33,9	33,1	33,4	32,1	33,1	32,6
27,4	45,8	45,1	44,6	38,8	38	37,2	35,6	35,1	35,1	33,7	33,8	33,9	34,2	33,3	33,6	32,3	33,3	32,8
27,6	45,7	44,9	44,4	38,9	38,2	37,3	35,8	35,3	35,3	33,9	34,1	34,2	34,4	33,7	33,9	32,6	33,6	33,1
28,1	45,3	44,6	44,2	39,1	38,2	37,4	35,9	35,4	35,4	34,1	34,3	34,3	34,6	33,8	34,1	32,9	33,8	33,2
28	45,4	44,7	44,3	39	38,2	37,4	36	35,4	35,4	34,2	34,3	34,3	34,6	33,9	34,2	33	33,8	33,2

Tabela A19 - Temperatura e umidade dos grãos na corrida experimental 10.

UR ar (%)	T. amb. (°C)	T.Grão ent. (°C)	U.Grão ent. (%)	T.Grão said. (%)	U.Grão said. (%)	T.megometro (°C)
66	30,5	28	19			27
		28,9	18,2	29	17,1	27,5
61	31	29,9	16,2	30,1	15,4	28
		30,8	15,5	30,9	14,4	28,5
60	31	31,3	14,4	31,5	13,8	29
		31,7	14,3	32	13,7	29
59	31,8	32	13,55	32,4	13,22	29
		32,2	13,55	32,6	13	29,5
60	32	32,4	13,7	32,8	12,55	29,5
		32,8	13,7	33,1	12,9	30
58,5	32	33,1	13,35	33,5	12,55	30

Tabela A20 - Temperatura do ar (°C) lida por cada tempoar para a corrida experimental 10.

T.amb	TP3	TP4	TP5	TP6	TP7	TP8	TP9	TP10	TP11	TP12	TP13	TP14	TP15	TP16	TP17	TP18	TP19	TP20
27,9	42,5	41,9	41,6	35,4	34,4	33,9	32	31,6	31,4	30,2	30,3	31,9	33,4	30,9	30,5	29,7	29,6	30,9
26	42,8	41,9	41,5	36,1	35,1	34,4	31,9	31,4	31,4	29,6	29,7	30,9	30,5	29,2	29,2	28,8	29	29,6
26,2	44,1	43,2	42,6	37,1	36,1	35,3	32,9	32,6	32,3	30,5	30,6	31,5	30,9	29,8	29,9	29,3	29,7	30,1
26,6	43,7	42,9	42,5	37,2	36,4	35,9	33,5	33	32,9	31,3	31,2	32,1	31,6	30,5	30,8	29,9	30,5	30,8
26,8	43,9	43,1	42,8	37,6	36,8	36,1	34	33,6	33,4	31,8	31,8	32,4	32,2	31,2	31,4	30,4	31,1	31,2
27,1	44,3	43,5	43,2	37,9	37,2	36,3	34,4	33,9	33,8	32,3	32,3	32,8	32,6	31,6	31,8	30,9	31,6	31,4
27,4	44,4	43,6	43,4	38,2	37,4	36,7	34,8	34,3	34,2	32,6	32,7	33,1	32,9	32	32,3	31,2	31,9	31,8
27,7	44,8	43,8	43,6	38,4	38	36,8	35,1	34,6	34,5	33	33	33,3	33,2	32,5	32,6	31,6	32,3	32
27,9	44,9	43,9	43,8	38,7	38	37,1	35,3	34,8	34,8	33,2	33,3	33,4	33,4	32,6	32,9	31,8	32,6	32,1
28,3	45,2	44,3	44,1	38,9	38,4	37,4	35,6	35,1	35,1	33,6	33,6	33,7	33,7	32,9	33,4	32,1	32,8	32,4
28,5	45,6	44,6	44,4	39,2	38,8	37,8	35,9	35,5	35,4	33,8	34	33,9	34	33,4	33,6	32,4	33,2	32,7



Tabela A21 - Temperatura e umidade dos grãos na corrida experimental 11.

UR ar (%)	T. amb. (°C)	T.Grão ent. (°C)	U.Grão ent. (%)	T.Grão said. (%)	U.Grão said. (%)	T.megometro (°C)
82	29,5	28,7	22,9			25,5
		29,9	19,8	30,2	19,2	26
82	30	30	19,6	31	18,6	27
		30,5	18,9	31,2	18,6	27,5
80	30,1	31	18,7	31,6	18,3	27,9
		31,6	17,45	31,9	17,45	28
78	31	31,9	16,1	32,1	17,3	28,2
		32	17,6	32,4	17,5	28,5
76	31	32,4	17,1	32,9	16,38	29
		32,8	17,15	33,1	16,8	29,2
74	31,9	32,8	15,85	33,5	16,45	30
		33	15,95	33,5	15,9	30
73	31,9	33	15,6	33,5	15,65	30
		33,4	16,1	33,8	15,35	30
70	32	33,6	15,25	34,1	14,85	30
		33,7	16,05	34,2	14,95	30,5
69	32,5	33,7	15,4	34,4	14,95	31
		34,2	14,5	34,7	14,45	31
67	32,5	34,2	14,25	34,7	14	31
		34,4	14,15	35	13,75	31
64	32	34,8	14	35,4	13,6	31
		34,8	13,55	35,4	13,35	31,5

Tabela A22 - Temperatura do ar (°C) lida por cada tempoar para a corrida experimental 11.

T.amb	TP3	TP4	TP5	TP6	TP7	TP8	TP9	TP10	TP11	TP12	TP13	TP14	TP15	TP16	TP17	TP18	TP19	TP20
26,4	43,6	42,8	42,4	36,8	35,7	35,1	32,8	32,4	32,1	29,8	30,5	31,7	31,1	29,8	29,9	29,3	29,7	30,3
26,9	44,1	43,3	42,9	37,4	36,4	35,6	33,7	33,2	32,9	30,7	31,3	32,5	31,9	30,5	30,7	30	30,4	31,1
26,4	44,3	43,4	43	37,6	36,6	35,8	33,9	33,3	33,2	31,2	31,5	32,6	32,2	30,9	31	30,2	30,8	31,2
26,5	45,3	44,3	44,1	38,4	37,3	36,4	34,6	33,9	33,8	31,8	32	32,8	32,4	31,3	31,4	30,5	31,2	31,4
26,8	45,3	44,6	44,5	39,3	38,4	37,4	35,3	34,8	34,6	32,5	32,7	33,4	32,8	31,7	32	30,9	31,6	31,8
26,9	45,4	44,6	44,3	38,7	37,9	37,1	35,1	34,6	34,4	32,6	32,8	33,3	33	31,9	32,2	30,9	31,8	31,8
27,2	45,3	44,4	44,3	38,7	37,8	37,1	35,2	34,7	34,4	32,8	32,9	33,2	33,2	32,3	32,5	31,3	32,1	31,8
27,5	45,4	44,7	44,6	38,8	38,3	37,4	35,5	35,1	35	33,3	33,3	33,7	33,5	32,7	32,9	31,7	32,5	32,2
27,4	45,6	44,8	44,7	38,9	38,2	37,4	35,6	35,1	35,1	33,4	33,6	33,7	33,6	32,8	33,1	31,7	32,7	32,4
27,8	45,9	45,3	45,3	39,3	38,8	38	36,1	35,6	35,5	33,9	34,1	34,2	33,9	33,3	33,6	32,3	33,1	32,7
28	46,1	45,4	45,3	39,4	38,8	38,1	36,2	35,8	35,6	34,1	34,2	34,3	34,2	33,4	33,7	32,5	33,3	32,8
27,6	46,3	45,6	45,4	39,4	38,9	38,3	36,3	35,8	35,7	34,2	34,3	34,3	34,1	33,5	33,7	32,5	32,2	32,7
28	46,4	45,8	45,7	39,7	39,3	38,6	36,6	36,2	36,1	34,5	34,6	34,6	34,3	33,7	34	32,8	33,5	32,8
28,4	46,6	45,8	45,8	39,9	39,4	38,8	36,9	36,3	36,3	34,7	34,9	34,8	34,6	34	34,3	33	33,8	33,1
28,4	46,8	46	45,9	40,3	39,9	39,3	37,1	36,8	36,6	35	35,2	35,1	34,8	34,2	34,5	33,2	33,9	33,3
28,6	46,1	45,3	45,3	40,3	39,9	39,4	37,4	36,9	36,8	35,2	35,4	35,4	35	34,5	34,7	33,4	34,1	33,6
28,9	47,2	46,4	46,3	40,8	40,5	39,8	37,8	37,3	37,3	35,6	35,7	35,8	35,3	34,7	34,9	33,7	34,6	33,9
28,7	47,1	46,3	46,3	40,5	40,2	39,8	37,8	37,3	37,1	35,6	35,7	35,7	35,3	34,7	35	33,7	34,6	33,8
28,7	47,1	46,3	46,3	40,6	40,3	39,8	37,8	37,3	37,2	35,6	35,7	35,7	35,3	34,8	35	33,8	34,7	33,9
28,8	47	46,2	46,2	40,8	40,3	39,8	37,7	37,3	37,2	35,6	35,7	35,7	35,3	34,8	35,1	33,8	34,7	33,9
29,3	46,8	46,1	46,2	40,7	40,3	39,7	37,8	37,3	37,2	35,6	35,7	35,7	35,4	34,8	35,1	33,9	34,6	33,9
28,9	47,7	46,9	46,8	41,2	40,8	40,1	38,1	37,6	37,6	35,9	36,1	36	35,6	35,1	35,3	34	34,8	34,2

Tabela A23 - Temperatura e umidade dos grãos na corrida experimental 12.

UR ar (%)	T. amb. (°C)	T.Grão ent. (°C)	U.Grão ent. (%)	T.Grão said. (%)	U.Grão said. (%)	T.megometro (°C)
74,5	30,8	30,9	21,1			27
		32,2	17,6	32	16,9	27,5
69	31,8	33,2	15,6	33,3	15,1	28
		33,6	14,4	33,8	14,1	29
67,2	31,9	33,9	14,2	34,2	13,75	29,5
		34,2	13,62	34,4	13,2	30
65	32	34,4	13,75	34,7	13,18	30
		34,7	13,4	35,1	12,8	30,2
65	32,4	34,7	13,45	35,1	12,8	30
		35	13,15	35,4	12,9	30,5

Tabela A24 - Temperatura do ar (°C) lida por cada temopar para a corrida experimental 12.

T.amb	TP3	TP4	TP5	TP6	TP7	TP8	TP9	TP10	TP11	TP12	TP13	TP14	TP15	TP16	TP17	TP18	TP19	TP20
27,9	44,5	43,7	42,9	36,8	36	35,4	33,7	33,3	33,2	31,8	32,1	33,7	33,4	31,7	31,7	31,4	31,7	32,6
28,2	44,4	43,4	42,9	37,3	36,6	36,1	34,5	34,1	34,1	32,8	33	34,4	34,1	32,6	32,6	32,1	32,6	33,4
27,8	44,6	43,6	43,1	37,6	37,1	36,6	34,9	34,6	34,6	33,4	33,6	34,8	34,7	33,2	33,6	32,6	33,2	33,8
28,2	45,3	44,3	43,8	38,2	37,8	36,8	35,4	35,1	35,1	33,8	33,9	35,1	34,9	33,8	33,7	32,9	33,6	34,1
27,8	45,6	44,6	44,1	38,9	39,6	37,5	36,1	35,6	35,6	34,2	34,3	35,3	35,3	33,9	34,3	33,1	33,9	34,2
27,9	45,8	44,9	44,6	39,3	39,6	37,8	36,4	35,9	35,9	34,6	34,8	35,7	35,6	34,3	34,7	33,6	34,2	34,4
28,2	46,1	45,1	44,7	39,9	39,1	38,3	36,8	36,3	36,3	35	35,2	35,9	35,9	34,8	34,8	33,8	34,6	34,7
28,4	46,1	45,2	44,9	39,8	39,3	38,5	36,8	36,4	36,4	35,1	35,3	35,9	35,8	34,7	35,1	33,9	34,6	34,6
28,8	46,3	45,4	45,1	40,1	39,7	38,8	37,2	36,7	36,7	35,3	35,3	36	36	34,9	35,2	33,8	35	34,8
28,1	41,6	41,1	40,9	40,1	40,1	39,7	39,9	38,6	38,7	37,5	37,8	38,6	37,6	36,3	36,6	35,4	36,2	36,4

Tabela A25 - Temperatura e umidade dos grãos na corrida experimental 13.

UR ar (%)	T. amb. (°C)	T.Grão ent. (°C)	U.Grão ent. (%)	T.Grão said. (%)	U.Grão said. (%)	T.megometro (°C)
73	32	32,7	21,2			29
		32,8	18,8	32,8	18,6	30
71	32,1	33,7	16,7	33,9	16,15	30
		34,4	15,2	14,7	15,35	30,5
70,5	32,2	34,8	14,9	35,1	14,4	30,5
		35,1	14,2	35,6	13,85	31
72	32,8	35,4	13,95	35,9	13,75	31
		35,7	13,8	36,1	13,5	31,5
72	33	35,9	13,55	36,4	13,2	31,5
		36,2	13,5	36,7	12,9	31,5
70	33	36,4	13,05	36,9	12,8	31,5

Tabela A26 - Temperatura do ar (°C) lida por cada tempoar para a corrida experimental 13.

T.amb	TP3	TP4	TP5	TP6	TP7	TP8	TP9	TP10	TP11	TP12	TP13	TP14	TP15	TP16	TP17	TP18	TP19	TP20
28,9	49,6	48,8	47,9	40,2	38,9	37,9	35,9	35,5	35,2	33,3	33,6	35,2	36,2	33,7	33,4	33,1	33	33,9
28,9	51,1	50	49	41,5	40,1	39,2	36,3	35,9	35,7	33,6	33,8	35	34,8	33,1	33,3	32,8	33,1	33,6
28,8	51,4	50,3	49,3	41,9	40,7	39,7	36,9	36,4	36,2	34,3	34,3	35,4	35,1	33,6	33,8	33,1	33,7	34
28,4	51,6	50,4	49,6	42,4	41,1	40,1	37,4	36,9	36,8	34,9	34,9	35,9	35,7	34,3	34,5	33,4	34,2	34,4
28,7	51,8	50,7	49,9	42,6	41,4	40,3	37,8	37,3	37,1	35,2	35,3	36,1	36,1	34,7	34,9	33,8	34,6	34,7
28,7	51,9	50,8	50,1	42,8	41,7	40,6	38,2	37,6	37,5	35,6	35,7	36,4	36,4	35,1	35,3	34,1	35	35,1
28,5	52,1	51,1	50,3	43,1	42,1	40,8	38,5	37,9	37,9	36	36,1	36,7	36,8	35,6	35,7	34,6	35,3	35,3
29	52,3	51,1	50,4	43,4	42,2	41,1	38,8	38,2	38,2	36,3	36,4	36,9	37	35,7	36	34,9	35,7	35,6
29,1	52,6	51,3	50,6	43,7	42,4	41,3	39,1	38,4	38,4	36,5	36,6	37,1	37,3	36,1	36,2	35,1	35,9	35,8
29,2	52,6	51,4	50,7	43,8	42,8	41,7	39,3	38,7	38,7	36,9	36,9	37,3	37,6	36,4	36,6	35,3	36,2	35,9
29,2	52,3	51,1	50,4	43,7	42,7	41,6	39,4	38,8	38,8	36,9	37,1	37,5	37,6	36,4	36,7	35,4	36,3	35,9

Tabela A27 - Temperatura e umidade dos grãos na corrida experimental 14.

UR ar (%)	T. amb. (°C)	T.Grão ent. (°C)	U.Grão ent. (%)	T.Grão said. (%)	U.Grão said. (%)	T.megometro (°C)
76,1	30,8	30,9	21,65			27,5
		31,4	19,5	31,6	18,6	28
74,8	31	32	18,8	32,2	17,15	28,5
		32,4	16,6	32,8	16,8	28,5
75,5	31,8	33	15,45	33,3	14,98	29
		33,4	14,85	33,9	14,5	29,5
73	31,8	33,9	14,3	34,3	13,95	29,5
		34,1	13,95	34,7	13,8	30
72,2	32	34,4	13,78	34,9	13,35	30
		34,7	13,6	35,1	13,2	30,5
69	32,1	34,8	13,25	35,3	12,85	30,5
		35,1	13,2	35,7	12,8	31
69	32,1	35,1	12,95	35,8	12,55	31

Tabela A28 - Temperatura do ar (°C) lida por cada tempoar para a corrida experimental 14.

T.amb	TP3	TP4	TP5	TP6	TP7	TP8	TP9	TP10	TP11	TP12	TP13	TP14	TP15	TP16	TP17	TP18	TP19	TP20
27,9	50,3	49,3	49,6	41,2	39,8	39,1	36,3	35,8	35,5	32,9	33,3	35,1	36,3	33,4	33,2	32,6	32,4	33,6
28	50,1	49,2	48,4	41,4	39,7	38,9	35,9	35,4	35,1	32,8	33	34,3	34,2	32,4	32,4	31,8	32,1	32,7
27,5	50,3	49,2	48,5	41,2	39,9	39,1	36,1	35,6	35,3	33,2	33,2	34,2	33,9	32,5	32,6	31,7	32,2	32,6
27,5	50,5	49,4	48,8	41,6	40,3	39,6	36,6	36	35,8	33,6	33,7	34,5	34,2	32,9	33,1	31,9	32,7	32,9
27,9	50,8	49,7	49,1	41,9	40,8	39,9	36,9	36,3	36,2	34,1	34,1	34,8	34,7	33,3	33,6	32,5	33,2	33,3
28	51,1	50,1	49,6	42,3	41,2	40,3	37,3	36,8	36,7	34,6	34,5	35,2	35,1	33,7	34	32,9	33,6	33,6
28	51,3	50,2	49,6	42,5	41,4	40,4	37,6	37,1	36,9	34,9	34,9	35,4	35,4	34,2	34,4	33,3	33,9	33,9
27,8	51,4	50,4	49,8	42,7	41,6	40,7	37,9	37,3	37,2	35,2	35,1	35,7	35,7	34,4	34,7	33,4	34,3	34,1
28,3	51,8	50,7	50,1	42,9	41,8	40,9	39,1	37,6	37,4	35,4	35,4	35,8	35,8	34,7	34,9	33,7	34,5	34,3
28,2	51,8	50,8	50,1	43,1	41,9	40,9	38,2	37,7	37,7	35,6	35,6	36	36	34,9	35,1	33,9	34,8	34,4
28,6	52,1	50,9	50,3	43,3	42,3	41,2	38,4	37,9	37,8	35,9	35,9	36,2	36,3	35,1	35,4	34,2	34,9	34,6
28,4	52,2	51,1	50,5	43,4	42,4	41,3	38,6	38,1	37,9	36	35,9	36,2	36,4	35,3	35,5	34,3	35,1	34,7
28,7	52,3	51,3	50,6	43,7	42,6	41,3	38,8	38,2	38,1	36,3	36,3	36,6	36,6	35,5	35,8	34,4	35,4	34,9



Tabela A29 - Temperatura e umidade dos grãos na corrida experimental 15.

UR ar (%)	T. amb. (°C)	T.Grão ent. (°C)	U.Grão ent. (%)	T.Grão said. (%)	U.Grão said. (%)	T.megometro (°C)
78	30	29,5	22			27
		30,4	19,7	30,9	19,3	27
75	30	31,4	18,5	31,9	17,5	27,5
		32,2	16,6	32,7	16,4	28,5
73	31	32,6	15,3	33,2	15,35	28,5
		33	15,3	33,6	14,6	29
73	31	33,7	14,2	34,2	14,45	29,5
		33,9	14,1	34,5	13,9	29,5
72	32	34	13,7	34,6	13,6	30
		34,2	13,7	34,8	13,5	30
72	32	34,3	13,7	34,9	13,4	30
		34,7	13,7	35,3	13,3	30
70	32	34,8	13,5	35,5	13,3	30,5

Tabela A30 - Temperatura do ar (°C) lida por cada tempoar para a corrida experimental 15.

T.amb	TP3	TP4	TP5	TP6	TP7	TP8	TP9	TP10	TP11	TP12	TP13	TP14	TP15	TP16	TP17	TP18	TP19	TP20
29,1	51,8	50,8	50,2	45,1	43,7	42,7	41,4	40,7	40,6	36,7	36,8	39,9	44,9	38,9	38,2	35,2	34,2	37,8
26,7	51	50,3	50,2	42,3	40,7	39,8	36,9	36,2	35,8	32,8	32,9	34,9	35,4	32,5	32,3	31,7	31,5	33,1
26,7	51,2	50,4	50,3	42,4	40,9	40,3	36,9	36,2	35,8	33	33,1	34,8	34,1	31,9	32,1	31,2	31,6	32,7
27,3	51,8	51,1	51,1	43,1	41,6	40,8	37,4	36,7	36,4	33,7	33,6	35,1	34,4	32,4	32,6	31,6	32	32,9
27,1	52,3	51,6	51,6	43,6	42,3	41,3	38,2	37,3	37,1	34,2	34,2	35,6	34,8	33	33,1	31,9	32,5	33,3
27,2	52,6	51,8	51,8	43,9	42,6	41,7	38,6	37,7	37,4	34,7	34,6	35,9	35,2	33,4	33,6	32,3	32,9	33,6
27,5	52,9	52,2	52,2	44,4	43,1	42,2	38,9	38,1	37,9	35,2	35,1	36,3	35,7	33,9	34,1	32,7	33,4	34,1
27,3	53,1	52,3	52,3	44,4	43,1	42,2	39,2	38,4	38,2	35,5	35,4	36,4	36,1	34,3	34,4	33,1	33,8	34,3
27,2	53,4	52,6	52,4	44,6	43,3	42,3	39,4	38,4	38,2	35,6	35,6	36,4	36,2	34,5	34,6	33,1	33,9	34,3
27,2	53,3	52,3	52,2	44,6	43,3	42,3	39,4	38,7	38,4	35,8	35,7	36,6	36,3	34,7	34,9	33,3	34,1	34,4
27,7	53,3	52,3	52,1	44,4	43,3	42,2	39,4	38,6	38,3	35,8	35,8	36,5	36,3	34,8	35	33,4	34,2	34,3
28,1	53,5	52,6	52,3	44,6	43,5	42,4	39,6	38,8	38,6	36,1	36,1	36,7	36,5	35	35,2	33,6	34,5	34,6
27,8	53,6	52,7	52,8	44,8	43,6	42,6	39,7	38,9	38,7	36,3	36,3	36,9	36,6	35,1	35,4	33,8	34,7	34,7

Tabela A31 - Temperatura e umidade dos grãos na corrida experimental 16.

UR ar (%)	T. amb. (°C)	T.Grão ent. (°C)	U.Grão ent. (%)	T.Grão said. (%)	U.Grão said. (%)	T.megometro (°C)
78	29,5	31,2	21,8			27,5
		32	18,7	31,6	19,8	28
72	30	32,9	18	33,1	17,8	28,5
		33,6	16,8	33,9	16,4	29
72	30	34,3	15,8	34,7	15,3	29,5
		34,5	15,4	35	15,1	29,5
71,5	30,5	34,7	14,8	35,3	14,3	30
		35	14,5	35,6	14,2	30
70	30,5	35,1	14,3	35,7	14,2	30
		35,1	14,5	35,8	13,95	30
70	30	34,8	13,7	35,5	13,3	30
		34,8	13,2	35,6	13,2	30,5
70	30,5	34,9	13,5	35,7	13,3	30,5

Tabela A32 - Temperatura do ar (°C) lida por cada tempoar para a corrida experimental 16.

T.amb	TP3	TP4	TP5	TP6	TP7	TP8	TP9	TP10	TP11	TP12	TP13	TP14	TP15	TP16	TP17	TP18	TP19	TP20
26,3	50,7	49,2	48,7	40,4	38,8	37,8	34,7	34,1	33,6	31,4	31,3	32,5	31,5	30,1	30,5	29,9	30,4	30,9
27,1	51,3	49,9	49,3	41,5	39,9	38,8	35,9	35,3	34,9	32,6	32,6	33,7	33,1	31,7	31,8	30,8	31,5	32,2
26,8	51,7	50,3	49,6	42,1	40,6	39,4	36,7	36	35,7	33,4	33,3	34,4	34	32,5	32,7	31,6	32,3	33
26,9	52	50,6	50,1	42,8	41,1	39,8	37,3	36,6	36,3	34	33,9	35,1	34,7	33,1	33,4	32,3	32,9	33,6
27,7	52,4	50,9	50,4	43,2	41,6	40,5	38,1	37,3	37,1	34,8	34,7	35,9	35,6	34	34,1	33,1	33,3	34,3
26,9	52,4	51,1	50,5	43,4	41,9	40,8	38,3	37,7	37,3	35,1	35	36,1	35,7	34,3	34,3	33,3	33,8	34,6
27	52,4	51,2	50,7	43,6	42,3	41	38,6	37,9	37,6	35,3	35,3	36,4	36,1	34,7	34,8	33,6	34,3	34,8
27,2	52,7	51,3	50,8	43,9	42,4	41,2	38,8	38,1	37,9	35,6	35,7	36,6	36,4	34,9	35,1	33,8	34,6	35
27,4	52,8	51,6	51,1	44,1	42,6	41,3	38,9	38,3	38,1	35,9	35,9	36,7	36,6	35,1	35,3	34	34,8	35,1
26,9	52,8	51,5	51,1	43,9	42,5	41,3	38,9	38,2	38	35,8	35,8	36,4	36,6	34,9	35,3	33,9	34,8	35
26,8	52,7	51,4	50,9	43,8	42,7	41,3	38,8	38,2	38	35,8	35,8	36,3	36,4	35	35,3	33,8	34,8	34,8
26,9	53,2	51,9	51,4	44,1	42,8	41,6	38,9	38,3	38,1	35,8	35,8	36,3	36,4	34,9	35,3	33,8	34,7	34,7
26,8	53	51,8	51,4	44,1	42,9	41,7	39	38,3	38,1	35,9	35,9	36,3	36,4	35,1	35,4	33,8	34,8	34,8

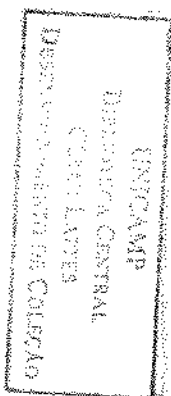


Tabela A33 - Temperatura e umidade dos grãos na corrida experimental 17.

UR ar (%)	T. amb. (°C)	T.Grão ent. (°C)	U.Grão ent. (%)	T.Grão said. (%)	U.Grão said. (%)	T.megometro (°C)
68	32	34	20,8			29
		34,6	18	34,6	18,6	30
62	32,5	35,7	16,7	35,9	16,2	30
		36,4	15,6	36,8	14,8	30,5
62	32,5	37,2	14,4	37,7	14	31
		37,6	13,75	38	13,6	31
60	32,5	37,9	13,7	38,4	13	31
		37,7	13,4	38,4	13	31,5
60	33	38,2	13,3	38,7	12,7	31,5
		38,1	13,1	39	12,3	31,5
58	33,5	38,2	12,9	39,1	12,6	32

Tabela A34 - Temperatura do ar (°C) lida por cada tempoar para a corrida experimental 17.

T.amb	TP3	TP4	TP5	TP6	TP7	TP8	TP9	TP10	TP11	TP12	TP13	TP14	TP15	TP16	TP17	TP18	TP19	TP20
28,3	59,9	58,8	58,1	46,9	44,8	43,6	40,3	39	38,7	35,7	35,6	37,8	37,3	34,7	34,8	34,4	ERR	36
28,7	60,2	58,9	58,4	47,6	45,4	44,1	40,9	39,8	39,3	36,2	36,1	38,2	37,6	35,2	35,2	34,5	35,1	ERR
27,9	60,3	59	58,4	47,8	45,8	44,5	41,3	40,3	39,8	36,8	36,6	38,7	38,1	35,5	35,8	34,7	35,4	36,7
28,6	60,7	59,5	59	48,4	46,4	45,1	42	40,9	40,5	37,4	37,3	39,3	38,8	36,4	36,6	35,3	36	33,3
28,6	60,8	59,6	58,9	48,7	46,7	45,4	42,5	41,4	41	38	37,9	39,8	39,4	36,9	37,1	35,8	36,6	37,8
28,8	60,1	58,9	58,4	48,6	46,6	45,4	42,6	41,6	41,1	38,3	38,2	40,1	39,8	37,2	37,4	36,1	36,9	38,1
28,4	59,8	58,5	57,8	48,7	46,8	45,6	42,8	41,8	41,4	38,4	38,4	40,2	39,9	37,5	37,7	35,9	37,1	38,1
29,2	60,1	58,8	58,1	48,9	47,1	45,8	42,9	41,9	41,6	38,8	38,7	40,3	40,1	37,8	37,8	36,4	37,4	38,4
28,9	60,1	58,7	58,2	49,1	47,3	45,9	43,1	42,1	41,7	38,9	38,9	40,4	40,3	37,9	38,1	36,6	37,4	38,4
28,7	60,2	59	58,6	49,2	47,6	46,1	43,2	42,1	41,9	39,1	38,9	40,4	40,2	37,9	38,2	36,6	37,4	38,3
28,8	60,2	58,9	58,2	49,2	47,4	46,2	43,2	42,2	41,9	39,2	39,1	40,5	40,3	38,1	38,2	36,7	37,6	38,4

Tabela A35 - Temperatura e umidade dos grãos na corrida experimental 18.

UR ar (%)	T. amb. (°C)	T.Grão ent. (°C)	U.Grão ent. (%)	T.Grão said. (%)	U.Grão said. (%)	T.megometro (°C)
68	32	32,6	20,8			28
		33,2	19,6	33,2	16,9	28,5
66	32	34,4	17,6	35	16,5	29
		35,1	15,8	35,8	15,5	30
65	32	35,4	15,2	36,1	14,5	30
		35,6	14,1	36,4	14,1	30
65	32	36,1	14	36,9	13,6	30
		36,2	13,9	37,1	13,2	30
64	32	36,6	14	37,3	13,2	30,5
		36,8	13,7	37,4	13,1	31
64	32,5	36,9	13,6	37,6	13,1	31,5
		36,9	13,4	37,4	13,1	32
62	33	37	13,3	37,9	13,1	32

Tabela A36 - Temperatura do ar (°C) lida por cada tempoar para a corrida experimental 18.

T.amb	TP3	TP4	TP5	TP6	TP7	TP8	TP9	TP10	TP11	TP12	TP13	TP14	TP15	TP16	TP17	TP18	TP19	TP20
27,5	59,1	57,9	57,3	47,1	44,7	43,6	39,6	38,8	38,2	34,8	34,6	36,5	35,7	33,2	33,5	32,4	32,8	34,1
27,7	58,4	57,6	56,9	47,4	45,3	44,3	40,7	39,8	39,3	36,1	35,8	37,7	36,9	34,3	34,6	33,2	33,8	35,1
28,3	59,4	58,2	57,7	47,9	46,1	44,9	41,1	40,1	39,6	36,3	36,1	38	37,3	34,9	35,1	33,4	34,3	35,6
27,1	59,8	58,7	58,3	48,3	46,3	45,3	41,3	40,4	39,9	36,7	36,6	38,3	37,6	35,2	35,5	33,9	34,7	35,9
27,1	60,3	59,1	58,8	48,6	46,8	45,4	41,7	40,8	40,3	36,9	36,8	38,4	37,9	35,6	35,8	34,1	34,9	36
27,4	60,2	59	58,6	48,7	46,9	45,6	41,9	41,1	40,6	37,4	37,2	38,7	38,2	35,9	36,2	34,6	35,3	36,4
27,3	59,9	58,7	58,4	48,6	48,8	45,4	41,9	40,9	40,5	37,4	37,3	38,7	38,3	36,1	36,3	34,7	35,6	36,4
27,9	60,1	58,7	58,4	48,8	47,1	45,7	42,1	41,3	40,8	37,8	37,6	39,1	38,6	36,4	36,7	34,8	35,8	36,8
28,1	60,6	59,5	59,3	48,9	47,2	45,9	42,3	41,4	40,9	38	37,8	39,2	38,8	36,6	36,8	35,1	36,1	36,8
27,6	60,3	59,1	58,6	48,8	47,3	45,9	42,4	41,6	41,1	38,1	38	39,3	38,9	36,8	37	35,2	36,1	36,9
27,8	59,7	58,7	58,4	48,6	46,9	45,7	42,3	41,4	40,9	38,1	38	39,2	38,9	36,8	37,1	35,1	36,2	36,8
27,7	60,7	59,6	59,1	49	47,4	46,1	42,6	41,7	41,3	38,3	38,2	39,3	38,9	36,9	37,2	35,3	36,3	36,8
28,1	58,8	57,6	56,4	48,2	46,8	45,4	42,4	41,6	41,2	38,3	38,2	39,4	39	37,1	37,3	35,2	36,4	36,9



Tabela A37 - Temperatura e umidade dos grãos na comida experimental 19.

UR ar (%)	T. amb. (°C)	T.Grão ent. (°C)	U.Grão ent. (%)	T.Grão said. (%)	U.Grão said. (%)	T.megometro (°C)
61	28	27,4	21,8			24
		28,3	20,5	28,4	20,4	25
61	28	29,3	19,6	29,5	18,8	25,5
		30,1	18	30,7	17,4	26
59	29	30,6	17,2	31,3	16,4	26
		31,3	16,1	31,9	15,3	26,5
58	29	31,8	14,7	32,5	14,5	26,5
		32,2	14,4	32,8	14	27
57	29	32,1	13,9	32,9	13,7	27
		32,3	13,8	33,1	13,2	27
56	29	32,7	13,3	33,4	13,1	27,5
		32,8	13	33,7	12,9	27,5

Tabela A38 - Temperatura do ar (°C) lida por cada tempoar para a corrida experimental 19.

T.amb	TP3	TP4	TP5	TP6	TP7	TP8	TP9	TP10	TP11	TP12	TP13	TP14	TP15	TP16	TP17	TP18	TP19	TP20
23,7	55,9	55	54,3	42	39,9	38,6	34,4	33,2	33	29,8	29,7	31,6	31,1	28,8	28,8	28,3	28,7	29,9
24,4	56,7	55,4	54,4	42,5	40,4	39,1	34,8	33,9	33,5	30,3	30,1	31,9	31,3	29,1	29,1	28,3	28,8	30,1
24,1	56,9	55,7	54,8	42,9	40,8	39,4	35,2	34,3	33,8	30,6	30,6	32,1	31,4	29,4	29,3	28,4	29,1	30,3
23,8	57,2	55,9	55,2	43,3	41,2	39,8	35,7	34,7	34,3	31,1	31	32,5	31,9	29,9	30,1	ERR	29,6	30,6
24,2	57,3	56	55,1	43,6	41,4	40,2	35,9	35	34,6	31,4	31,3	32,6	32,3	30	30,4	28,9	29,9	30,9
23,5	57,5	56,2	55,4	43,8	41,9	40,4	36,3	35,4	35	31,9	31,8	33,1	32,8	30,8	30,9	29,3	30,3	31,3
24,1	57,7	56,6	55,8	44,2	42,2	40,8	36,8	35,8	35,3	32,3	32,2	33,4	33,2	31,2	31,4	29,7	ERR	31,6
23,5	56,7	55,5	54,7	43,9	42,1	40,8	36,9	36	35,6	32,7	32,5	33,6	33,6	31,6	31,8	29,3	31,2	31,9
23,6	57,2	55,9	55,2	44,6	42,1	40,8	36,9	36,1	35,6	32,7	32,6	33,6	33,7	31,7	31,9	30,2	31,3	32
24,1	57,8	56,4	55,6	44,4	42,6	41,2	37,3	36,6	35,9	33	32,9	33,8	33,8	31,9	32,1	30,4	31,5	32,1
24,6	57,9	56,6	55,7	44,7	42,8	41,6	ERR	36,7	36,3	33,3	33,3	34,1	34,1	32,2	32,5	29,9	31,8	32,3
24,2	58,2	56,7	55,9	45,5	43,1	41,7	38,1	36,9	36,6	33,6	33,5	34,3	34,4	32,6	32,7	30,9	32,2	32,6

Tabela A39 - Temperatura e umidade dos grãos na corrida experimental 20.

UR ar (%)	T. amb. (°C)	T.Grão ent. (°C)	U.Grão ent. (%)	T.Grão said. (%)	U.Grão said. (%)	T.megometro (°C)
62	28	29	20,8			25
		29,5	19,5	30,1	19,2	26
60	29	30,6	17,7	31,2	17,3	26,5
		31,4	16,3	32	15,2	27
60	30	31,9	15,9	32,5	14,9	27,5
		32,4	14,9	32,9	14,3	28
58	30	32,6	14,8	33,3	13,8	28
		33	14,7	33,6	13,5	28
56	30	33,1	14,6	33,8	13,3	29
		33,3	14,1	34,1	13,1	29
56	30	33,6	13,9	34,3	12,7	29
		33,7	13,5	34,4	12,7	29
54	31	33,9	13,1	34,6	12,7	29
		34,2	12,9	34,9	12,7	29

Tabela A40 - Temperatura do ar (°C) lida por cada tempoar para a corrida experimental 20.

T.amb	TP3	TP4	TP5	TP6	TP7	TP8	TP9	TP10	TP11	TP12	TP13	TP14	TP15	TP16	TP17	TP18	TP19	TP20
24,8	56,1	54,2	52,9	41,7	39,7	38,3	34,8	34,3	33,5	30,8	30,8	32,9	33,1	30,4	30,3	29,1	30,1	31,6
24,8	56,2	54,3	53,1	41,8	39,7	38,6	34,9	34,1	33,7	31,1	31	32,8	32,6	30,4	30,4	29,2	30,6	31,6
25,2	56,5	54,6	53,2	42,2	40,2	39,1	35,3	34,4	34,1	31,5	31,4	32,9	32,8	30,8	30,9	29,9	30,7	31,8
25,1	56,4	54,6	53,4	42,4	40,5	39,4	35,8	34,8	34,4	31,9	31,8	33,2	33,2	31,2	31,3	30,2	31,1	32,1
25	56,2	54,4	53,2	42,5	40,7	39,3	ERR	35,1	34,8	32,3	32,3	33,6	33,6	31,6	31,7	30,1	31,4	32,4
25,3	50,6	54,1	53,1	42,6	40,8	39,4	36,3	36	35	32,6	32,6	33,8	33,8	31,8	32,1	30,8	ERR	32,7
25	57	55,1	53,9	43,1	41,2	39,8	36,4	36,2	35,3	32,8	32,8	34	34,1	32,2	32,4	31,1	32,1	32,8
25,2	56,6	54,7	53,6	43,1	41,3	39,9	36,6	ERR	35,6	33,2	33,1	34,1	34,3	32,5	32,7	31,3	ERR	33
25,8	56,4	54,7	53,7	43,2	42,1	40,1	36,8	36,2	35,8	33,4	33,4	34,3	34,6	32,7	33,2	31,6	32,7	33,2
25,8	57,2	55,3	54,2	43,4	42,3	40,3	37	36,2	35,9	33,7	33,6	34,6	34,8	33,4	33,3	31,9	32,9	33,4
25,8	56,6	54,8	53,7	43,3	41,8	40,3	37,1	36,9	36,2	33,9	33,9	34,7	35	33,2	33,5	32,1	ERR	33,7
26,3	56,8	54,9	53,9	43,6	41,9	40,4	37,2	37,2	36,3	34,1	34,1	34,8	35,1	33,4	33,7	32,3	ERR	33,7
26,3	56,8	55	53,8	44,4	42,1	40,7	37,7	36,8	36,5	34,3	34,3	35,1	35,3	33,9	33,9	32,5	33,6	33,9
25,8	56,8	55,2	53,8	43,8	42,2	41	37,8	36,9	36,7	34,4	34,4	35,1	35,4	33,8	34	31,9	33,7	33,9

Tabela A41 - Temperatura e umidade dos grãos na comida experimental 21.

UR ar (%)	T. amb. (°C)	T.Grão ent. (°C)	U.Grão ent. (%)	T.Grão said. (%)	U.Grão said. (%)	T.megometro (°C)
68	26	25	24,5			22,8
		25,4	22,7	25,5	23	23
67	26	25,9	22,2	26,2	22,1	23,5
		26,4	21	26,6	21,4	23,5
68	26	26,8	20,4	27,1	20,3	24
		27,3	19,8	27,5	19,6	24,5
66	26,2	27,7	19,2	27,9	19,4	24,5
		28,2	18,9	28,4	19	25
64	27	28,6	17,2	28,7	17,3	25
		28,7	16,2	29	16,5	25,5
62,5	27,3	29,2	16,2	29,3	15,75	25,5
		29,3	15,7	29,6	15,55	25,5
62,5	27,3	29,5	15,25	29,8	15,3	25,5
		29,7	15,2	29,9	15,1	25,8
62,8	27,3	29,9	15	30,1	14,65	26
		29,8	14,65	30,2	14,6	26
62,2	27,5	30	14,65	30,3	14,35	26
		30,2	14,45	30,4	14,25	26,5
62	27,9	30,4	14,2	30,6	14,25	26,5
		30,4	14	30,7	13,95	26
61	27,9	30,5	14,2	30,8	13,95	26,5
		30,3	13,95	30,7	13,75	26,5
61	27,8	30,3	13,85	30,6	13,6	26,5

Tabela A42 - Temperatura do ar (°C) lida por cada tempoar para a corrida experimental 21.

T.amb	TP3	TP4	TP5	TP6	TP7	TP8	TP9	TP10	TP11	TP12	TP13	TP14	TP15	TP16	TP17	TP18	TP19	TP20
22,4	27,7	27,7	28,3	27,4	27,4	27,3	29,5	29	28,9	27	27,1	29,2	30,1	26,7	26,1	26,9	25,9	27,1
21,9	26,1	26,2	27,1	25,2	25,2	25,2	25,6	25,4	25,4	25,3	25,4	26,9	27,1	25,3	25,2	25,8	25,6	26,6
21,9	25,9	26,1	26,7	25,3	25,3	25,1	25,4	25,3	25,4	25,3	25,4	26,4	26,8	25,4	25,5	25,6	25,7	26,6
21,7	26,3	26,4	26,9	25,6	25,6	25,3	25,7	25,6	25,7	25,6	25,7	26,7	27,2	25,8	25,9	25,7	26	26,9
22,1	26,6	26,8	27,3	26,1	25,9	25,7	26,1	25,9	26,2	25,9	26,1	27	27,5	26,2	26,4	26	26,4	27,2
22,7	27,1	27,2	27,8	26,4	26,4	26,2	26,5	26,4	26,6	26,4	26,5	27,3	27,9	26,7	26,9	26,3	26,8	27,5
22,7	27,6	27,6	28,3	26,9	26,8	26,6	26,9	26,8	27,1	26,7	26,9	27,6	28,4	27,1	27,4	26,6	27,2	27,9
22,4	27,9	28	28,5	27,3	27,2	27	27,4	27,2	27,6	27,2	27,4	27,9	28,8	27,5	27,8	27	27,7	28,4
22,7	28,3	28,3	28,8	27,7	27,6	27,4	27,7	27,6	27,9	27,5	27,8	28,2	29,2	27,9	28,2	27,4	28	28,7
23,1	28,7	28,7	29,3	28,1	27,9	27,7	28,1	27,9	28,2	27,9	28,2	28,6	29,6	28,3	28,6	27,7	28,3	28,8
22,7	29	29,1	29,7	28,3	28,3	28	28,3	28,2	28,6	28,3	28,5	28,9	29,8	28,6	29	28	28,7	29,1
22,9	29,2	29,3	29,7	28,6	28,6	28,3	28,6	28,5	28,8	28,5	28,8	29,1	30,1	28,9	29,2	28,1	28,9	29,3
23,5	29,4	29,5	30,2	28,8	28,8	28,5	28,9	28,7	29	28,7	28,9	29,3	30,3	29,3	29,4	28,4	29,1	29,5
23,5	29,7	29,8	30,4	29,1	29,1	28,7	29,2	28,9	29,3	28,9	29,2	29,5	30,5	29,4	29,7	28,6	29,3	29,7
22,9	30	30,1	31	29,3	29,2	28,9	29,3	29,1	29,4	29,1	29,3	29,6	30,7	29,5	29,8	28,6	29,4	29,7
23	30,2	30,2	30,6	29,4	29,4	29,4	29,6	29,3	29,7	29,4	29,6	29,8	30,8	29,7	30,1	28,8	29,6	29,9
23,1	30,3	30,3	31	29,6	29,6	29,3	29,7	29,5	29,8	29,5	29,8	29,9	31	29,9	30,2	28,9	29,8	30,2
23,6	30,5	30,5	31,2	29,8	29,8	29,5	29,9	29,7	30,1	29,7	29,9	30,1	31,2	30,1	30,4	29,1	30	30,2
23,4	30,6	30,7	31,3	29,9	30,1	29,7	30	29,8	30,2	29,9	30,1	30,3	31,3	30,3	30,6	29,3	30,2	30,3
23,3	30,8	30,9	31,4	30,1	30,1	29,8	30,2	29,9	30,3	30	30,3	30,3	31,4	30,4	30,8	29,4	30,3	30,4
23,2	31,1	31,1	31,8	30,2	30,3	29,9	30,3	30,1	30,5	30,2	30,4	30,4	31,5	30,6	30,9	29,6	30,5	30,6
22,7	31,1	31,1	31,6	30,3	30,3	29,9	30,3	30,2	30,5	30,2	30,4	30,3	31,6	30,6	30,9	29,6	30,4	30,4
22,9	31,1	31,1	31,7	30,2	30,4	30	30,4	30,1	30,5	30,2	30,4	30,4	31,4	30,5	30,9	29,5	30,4	30,4

Tabela A43 - Temperatura e umidade dos grãos na corrida experimental 22.

UR ar (%)	T. amb. (°C)	T.Grão ent. (°C)	U.Grão ent. (%)	T.Grão said. (%)	U.Grão said. (%)	T.megometro (°C)
69	26	23,8	23,2			23
		24,8	22,4	25	23	23
68	27	25,4	22	25,7	21,8	23,5
		26,1	20,2	26,2	21	24
66	26	26,5	19,6	26,7	20	24
		26,9	18,8	27,2	19,2	25
66	26	27,2	17,8	27,5	17,8	25
		27,4	17,4	27,8	17,2	25
64	27	27,9	15,9	28,3	16,4	25
		28,2	15,6	28,6	16,2	25
64	28	28,5	15,6	28,7	15,9	25
		28,6	14,8	28,9	15	25,5
64	27	28,7	14,6	28,9	14,6	25,5
		28,8	14,6	29,1	14,5	25,5
64	28	29,1	14,1	29,4	14,4	26
		29,3	14,3	29,7	14,1	26
64	28	29,7	14,2	29,9	13,9	26,5
		29,8	14	30,1	13,9	26,5
64	28	29,8	13,9	30,2	13,6	26,5

Tabela A44 - Temperatura do ar (°C) lida por cada tempoar para a corrida experimental 22.

T.amb	TP3	TP4	TP5	TP6	TP7	TP8	TP9	TP10	TP11	TP12	TP13	TP14	TP15	TP16	TP17	TP18	TP19	TP20
22,1	25,4	25,7	26,4	24,6	24,7	24,5	25,1	24,8	24,8	24,6	24,8	25,7	26	24,7	24,7	24,8	24,9	25,6
22,1	25,6	25,7	26,3	24,8	24,8	24,7	25	24,8	25	24,8	24,9	25,6	26	24,9	25,2	24,8	25,2	25,8
21,8	26,1	26,1	26,8	25,2	25,2	25	25,3	25,2	25,5	25,2	25,4	25,7	26,4	25,4	25,7	25,1	25,6	26,1
22,4	26,5	26,6	27,2	25,7	25,7	25,5	25,8	25,7	26	25,7	25,9	26,2	26,9	26	26,2	25,5	26,1	26,4
22,1	27,1	27,2	27,8	26,2	26,2	26,1	26,3	26,2	26,5	26,2	26,6	26,8	27,4	26,6	26,8	26	26,6	26,8
22,3	27,5	27,6	28,3	26,6	26,5	26,3	26,6	26,5	26,8	26,6	26,8	26,9	27,7	26,8	27,2	26,2	26,8	27
22,6	27,9	28	28,8	26,9	26,8	26,7	27,1	26,9	27,2	26,9	27,2	27,2	27,9	27,2	27,5	26,5	27,2	27,3
22,8	28,3	28,3	29,2	27,3	27,2	27,1	27,3	27,3	27,6	27,4	27,6	27,6	28,4	27,7	27,9	27	27,7	27,7
22,6	28,6	28,7	29,4	27,7	27,6	27,4	27,7	27,6	28	27,7	27,9	27,9	28,8	28	28,3	27,3	27,9	28,1
22,9	28,9	29	29,7	27,9	27,9	27,7	28,1	27,9	28,3	27,9	28,2	28,1	29,1	28,3	28,6	27,6	28,3	28,3
22,8	29,1	29,3	30,1	28,2	28,1	27,9	28,3	28,1	28,4	28,1	28,4	28,3	29,2	28,6	28,8	27,7	28,4	28,4
23	29,4	29,5	30,6	28,4	28,3	28,2	28,5	28,3	28,7	28,3	28,6	28,5	29,5	28,7	29	27,8	28,6	28,6
23,1	29,4	29,6	30,3	28,6	28,6	28,4	28,7	28,6	28,9	28,5	28,8	28,7	29,6	28,9	29,3	28	28,8	28,7
23,7	29,7	29,8	30,4	28,8	28,7	28,6	28,9	28,8	29,1	28,7	29	28,9	29,8	29,2	29,6	28,2	29,1	28,9
23,2	30,1	30,2	30,8	29,2	29	28,8	29,2	28,9	29,4	29	29,3	29,2	30,1	29,5	29,8	28,8	29,2	29,2
23,9	30,3	30,4	31,2	29,4	29,3	29,1	29,4	29,2	29,6	29,2	29,6	29,6	30,5	29,7	30,1	28,7	29,6	29,5
23,3	30,5	30,6	31,4	29,6	29,6	29,4	29,7	29,4	29,8	29,4	29,7	29,7	30,7	29,9	30,3	29,3	29,7	29,7
23,9	30,6	30,8	31,7	29,7	29,7	29,5	29,9	29,6	30	29,7	29,9	29,8	30,7	30,2	30,5	29,1	29,9	29,8
23,8	30,9	31	31,8	29,9	29,9	29,7	30,1	29,8	30,2	29,9	30,2	30	31,1	30,3	30,7	29,3	30,1	29,9



Tabela A45 - Temperatura e umidade dos grãos na corrida experimental 23.

UR ar (%)	T. amb. (°C)	T.Grão ent. (°C)	U.Grão ent. (%)	T.Grão said. (%)	U.Grão said. (%)	T.megometro (°C)
48	30	27,4	20			27
		30	18,6	30,2	18,2	28
47	30	31	17,2	31	17,4	28,5
		31,6	15,1	31,7	15,3	28,5
46	30	31,9	15,1	32,1	15,1	28,5
		32,2	15	32,5	14,7	29
46	30	32,5	14,6	32,7	14,6	29
		32,6	13,9	32,9	14,1	29
47	30	32,8	14,1	33,2	14	29
		32,8	13,9	33,2	13,8	29
48	30	32,8	13,8	33,2	13,8	29
		32,9	13,8	33,3	13,7	28,5
50	30	32,8	13,9	33,2	13,9	28,5
		32,7	13,6	33,1	13,75	28

Tabela A46 - Temperatura do ar (°C) lida por cada tempo para a corrida experimental 23.

T.amb	TP3	TP4	TP5	TP6	TP7	TP8	TP9	TP10	TP11	TP12	TP13	TP14	TP15	TP16	TP17	TP18	TP19	TP20
26	30,4	31,2	32,9	29,4	29,4	29,2	29,3	29,4	29,8	29,6	29,8	30,5	31,6	30	30,1	30,1	30,3	30,7
26,4	31,2	31,7	33,1	30,1	30,1	29,9	29,8	30,1	30,5	30,3	30,6	31	32,2	30,8	31	30,6	31	31,4
25,7	31,9	32,3	33,3	30,8	30,7	30,6	30,6	30,6	31,2	30,9	31,3	31,6	32,5	31,3	31,6	31,1	31,6	31,9
25,6	32,4	32,7	33,9	31,2	31,2	31,1	31,1	31,1	31,6	31,3	31,7	32	32,9	31,7	32,1	31,4	32,1	32,4
25,6	32,6	32,9	33,9	31,6	31,6	31,4	31,4	31,4	31,9	31,7	32,1	32,3	33,1	32,1	32,5	31,8	32,4	32,7
25,6	33,1	33,4	34,8	31,9	31,9	31,8	31,8	31,8	32,3	32,1	32,4	32,8	33,4	32,3	32,8	32,1	32,8	32,9
25,8	33,4	33,8	35,2	32,3	32,2	32	31,9	32	32,6	32,3	32,6	32,7	33,7	32,7	33	32,2	32,9	33,2
25,7	33,6	34	35,3	32,4	32,3	32,2	32,1	32,2	32,7	32,5	32,8	32,9	33,8	32,8	33,2	32,4	33,1	33,1
25,6	33,8	34,3	35,6	32,6	32,5	32,3	32,3	32,2	32,8	32,5	32,8	32,9	33,8	32,9	33,3	32,3	33,2	33,2
25,1	33,8	34,3	36,1	32,5	32,5	32,3	32,4	32,3	32,9	32,6	32,9	32,9	33,8	32,9	33,3	32,5	33,2	33,1
25,6	33,8	34,3	35,9	32,6	32,6	32,4	32,5	32,4	32,9	32,6	32,9	32,8	33,8	33	33,4	32,4	33,2	33,1
25,1	34,1	34,7	36	32,6	32,7	32,4	32,4	32,4	32,9	32,6	32,8	32,8	33,8	32,9	33,3	32,4	33,2	33,2
25,2	34,1	34,7	36,3	32,6	32,7	32,4	32,5	32,4	32,9	32,6	32,8	32,7	33,8	32,9	33,3	32,3	33,2	32,9
25,2	34,3	34,8	36,8	32,5	32,7	32,4	32,4	32,4	32,9	32,6	32,7	32,6	33,7	32,9	33,3	32,6	33,2	32,9

Tabela A47 - Temperatura e umidade dos grãos na corrida experimental 24.

UR ar (%)	T. amb. (°C)	T.Grão ent. (°C)	U.Grão ent. (%)	T.Grão said. (%)	U.Grão said. (%)	T.megometro (°C)
64	26	26,2	21,6			24,5
		27,7	20	27,7	19,8	24,5
60	28	28,7	19,3	28,8	19,2	25
		29,2	17,3	30,1	16,7	25,5
58	28	29,9	16,7	30,1	16,6	26
		30,3	15,6	30,5	15,2	26,5
56	28	31	15,1	31,2	14,9	27
		31,2	15,1	31,6	14,7	27
55	29	31,7	14,4	32,1	14,4	27,5
		31,8	14,2	32,2	13,7	27,5
54	29	32,2	13,8	32,6	13,7	28
		32,6	13,7	33	13,6	28
53	30	33,1	13,6	33,4	13,5	28

Tabela A48 - Temperatura do ar (°C) lida por cada tempo para a corrida experimental 24.

T.amb	TP3	TP4	TP5	TP6	TP7	TP8	TP9	TP10	TP11	TP12	TP13	TP14	TP15	TP16	TP17	TP18	TP19	TP20
23,8	27,9	28,3	29,4	26,8	26,8	26,7	27,5	27,1	27,1	26,9	27,1	28,4	29,2	27,3	27,3	27,6	27,6	28,6
23,9	28,6	29,2	30,8	27,5	27,4	27,3	27,9	27,6	27,9	27,6	27,7	28,7	29,7	27,9	28,1	27,8	28,1	29,2
23,8	29,3	29,9	31,6	28,1	28,1	27,9	28,4	28,2	28,5	28,2	28,3	28,9	30,2	28,6	28,8	28,4	28,7	29,7
24,8	29,9	30,3	31,6	28,7	28,7	28,4	28,8	28,7	29,2	28,7	28,9	29,8	30,7	29,2	29,5	28,9	29,4	30,2
25	30,5	30,8	32,4	29,3	29,3	29	29,4	29,3	29,7	29,3	29,5	30	31,3	29,9	30,1	29,4	29,9	30,6
24,9	31,1	31,5	33	29,9	29,8	29,7	29,9	29,9	30,3	29,9	30,1	30,9	31,6	30,3	30,7	29,9	30,5	31,1
24,8	31,7	32,1	33,8	30,4	30,4	30,2	30,3	30,3	30,8	30,3	30,6	31,3	32,2	30,8	31,2	30,3	30,9	31,6
25,7	32,1	32,6	34	30,9	30,9	30,7	30,7	30,7	31,2	30,7	30,9	31,7	32,6	31,3	31,7	30,7	31,4	31,9
25,3	32,4	32,8	34,2	31,1	31,2	30,9	31,1	30,9	31,4	31	31,2	31,8	32,8	31,7	31,9	31	31,7	32,1
25,4	32,8	33,2	34,7	31,6	31,6	31,4	31,6	31,5	31,9	31,4	31,7	32,3	33,3	32,1	32,4	31,3	32,1	32,5
25,7	33,3	33,8	35,4	31,9	32	31,7	31,8	31,7	32,2	31,8	32	32,6	33,6	32,5	32,8	31,9	32,4	32,9
25,6	33,8	34,3	35,7	32,2	32,4	32,1	32,3	32,2	32,7	32,2	32,3	32,9	34	32,8	33,2	32,1	32,8	33,2
26,2	34,3	34,9	36,7	32,5	32,6	32,3	32,6	32,5	33	32,4	32,6	33,2	34,3	33,1	33,5	32,7	33,1	33,3

## ANEXO 5

As curvas de secagem experimentais e calculadas pela equação 29, para cada corrida experimental são mostradas nas figuras de A1 a A24.

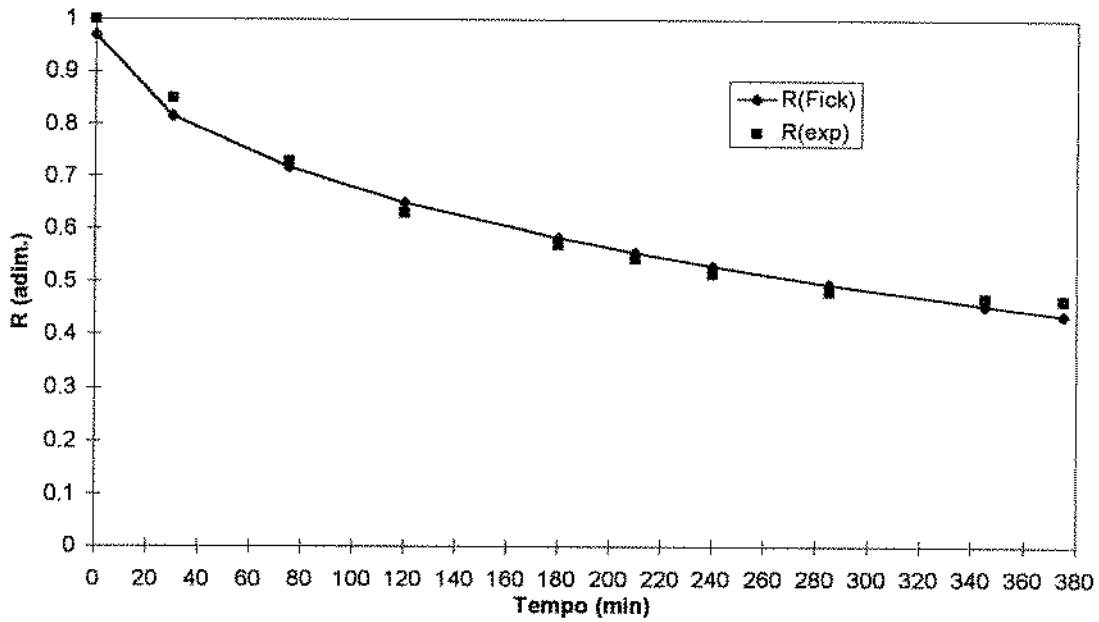


Figura A1 : Curvas de secagem experimental e calculada (Fick) para escoamento denso, a 60°C, velocidade do ar de 0,7 m/s e vazão de grãos de 160 g/s.

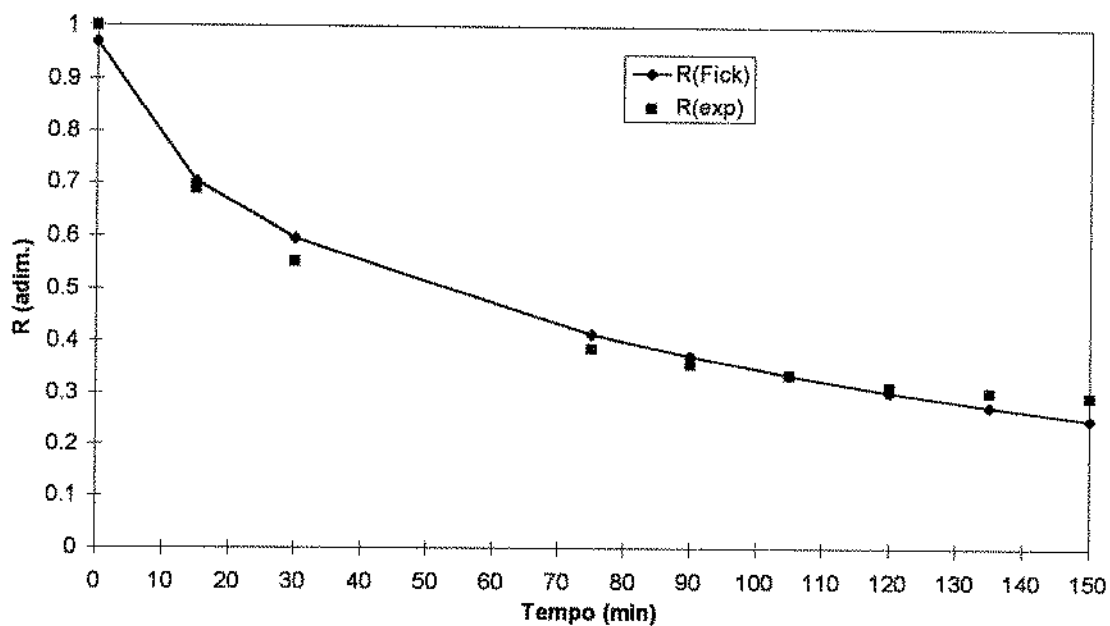


Figura A2 : Curvas de secagem experimental e calculada (Fick) para escoamento denso, a 60°C, velocidade do ar de 0,7 m/s e vazão de grãos de 210 g/s.

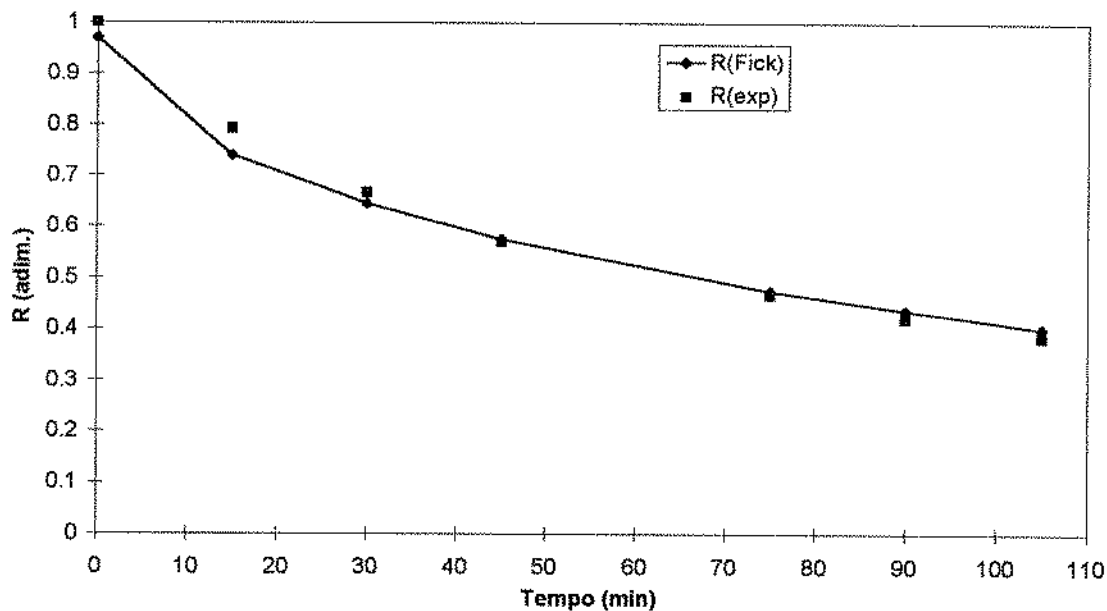


Figura A3 : Curvas de secagem experimental e calculada (Fick) para escoamento denso, a 60°C, velocidade do ar de 1 m/s e vazão de grãos de 160 g/s.

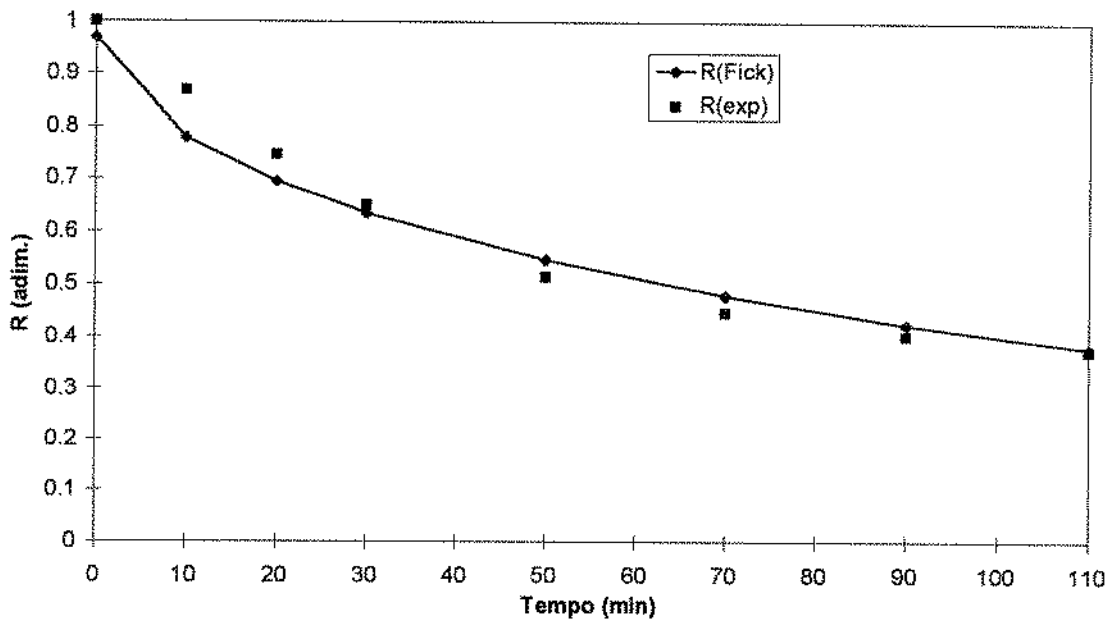


Figura A4 : Curvas de secagem experimental e calculada (Fick) para escoamento denso, a 60°C, velocidade do ar de 1 m/s e vazão de grãos de 210 g/s.

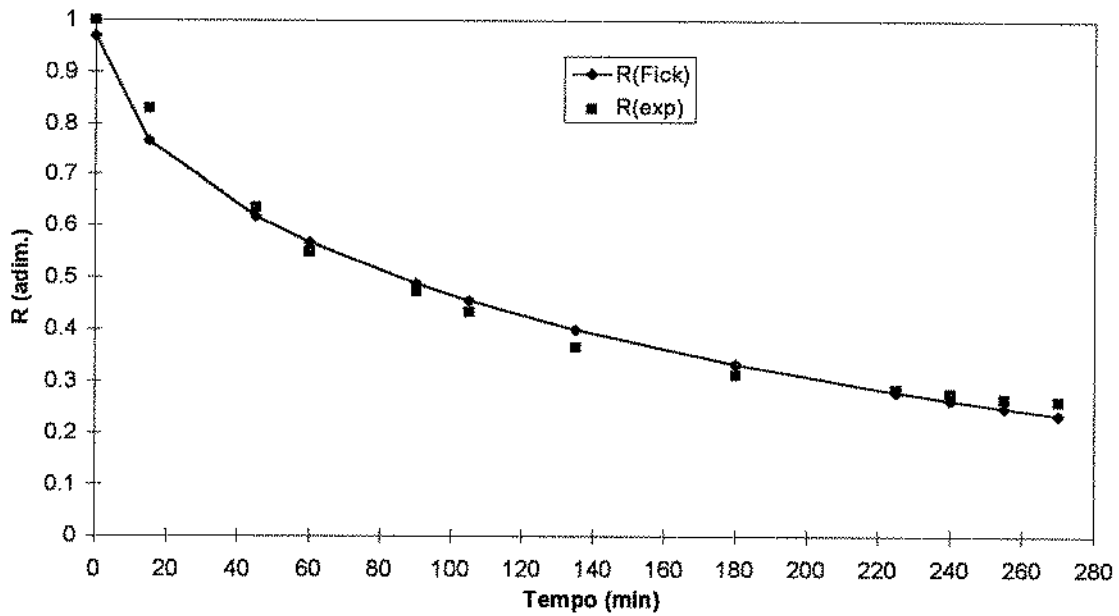


Figura A5 : Curvas de secagem experimental e calculada (Fick) para escoamento denso, a 50°C, velocidade do ar de 0,7 m/s e vazão de grãos de 160 g/s.

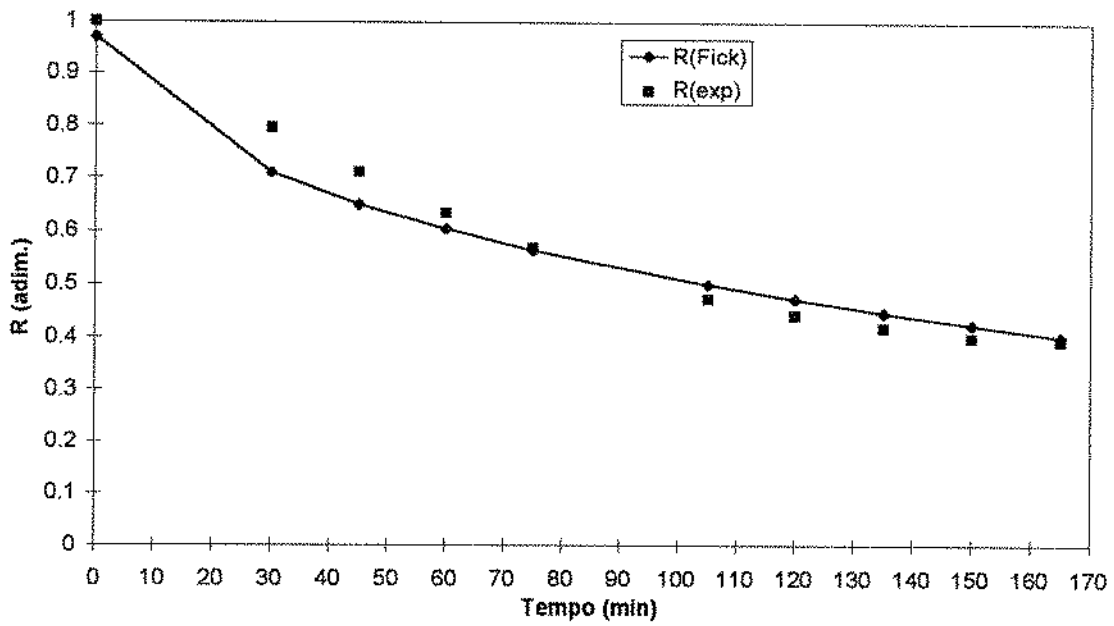


Figura A6 : Curvas de secagem experimental e calculada (Fick) para escoamento denso, a 50°C, velocidade do ar de 0,7 m/s e vazão de grãos de 210 g/s.

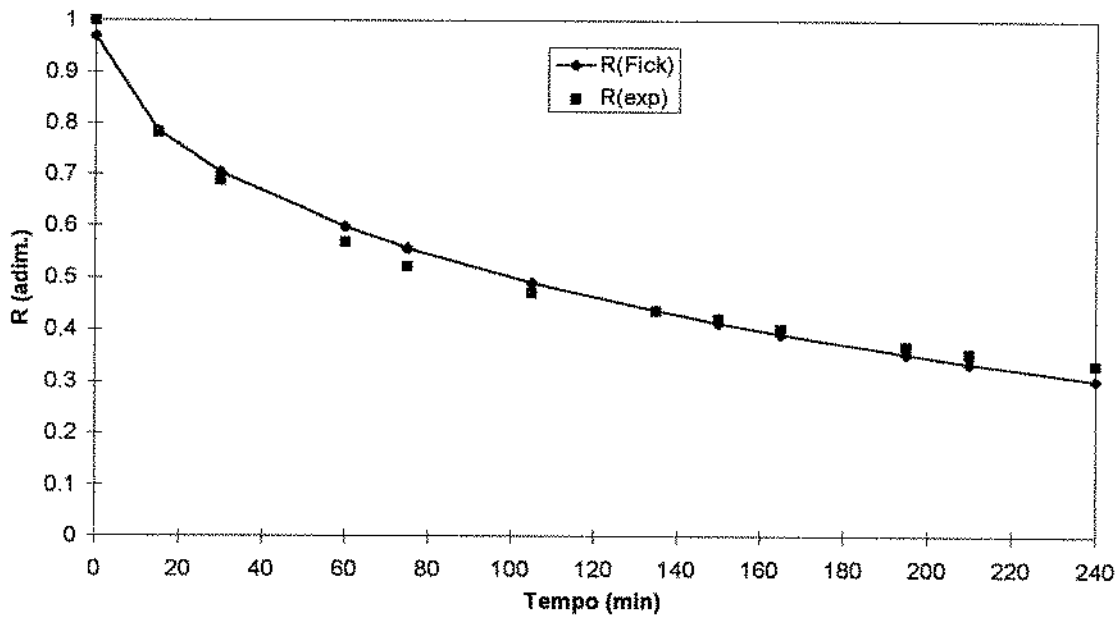


Figura A7 : Curvas de secagem experimental e calculada (Fick) para escoamento denso, a 50°C, velocidade do ar de 1 m/s e vazão de grãos de 160 g/s.



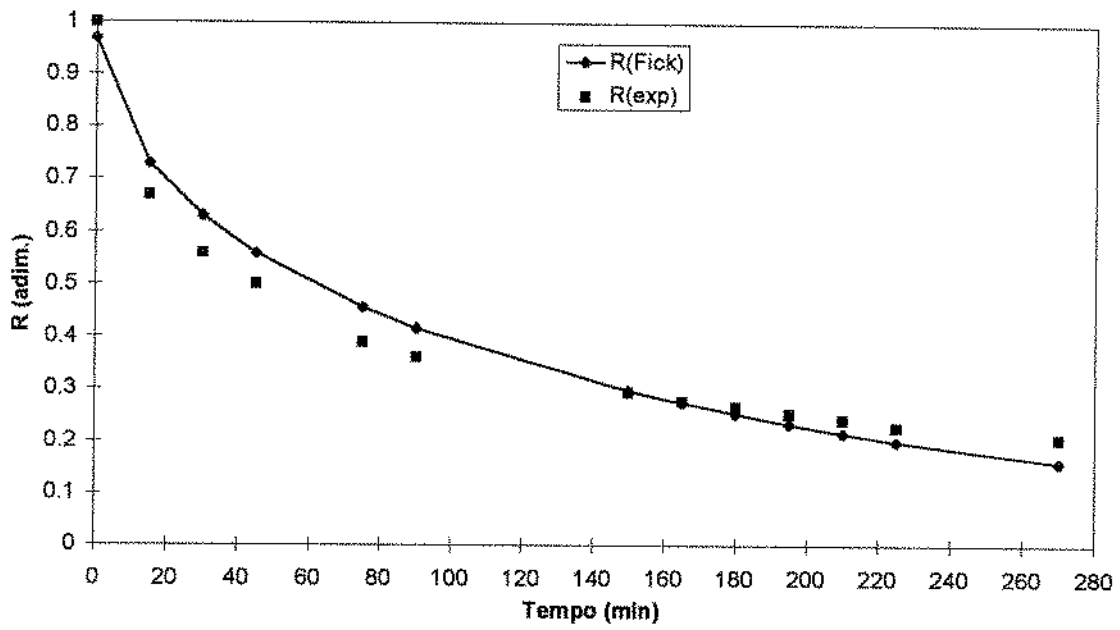


Figura A8 : Curvas de secagem experimental e calculada (Fick) para escoamento denso, a 50°C, velocidade do ar de 1 m/s e vazão de grãos de 210 g/s.

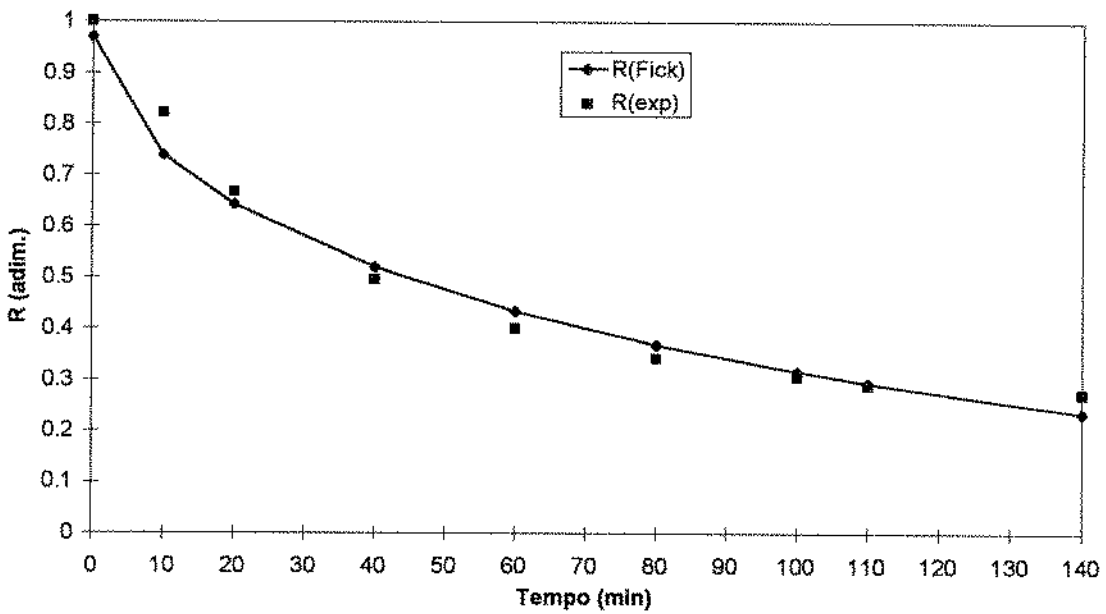


Figura A9 : Curvas de secagem experimental e calculada (Fick) para escoamento em queda livre, a 50°C, velocidade do ar 0,7 m/s e vazão de grãos 210 g/s.

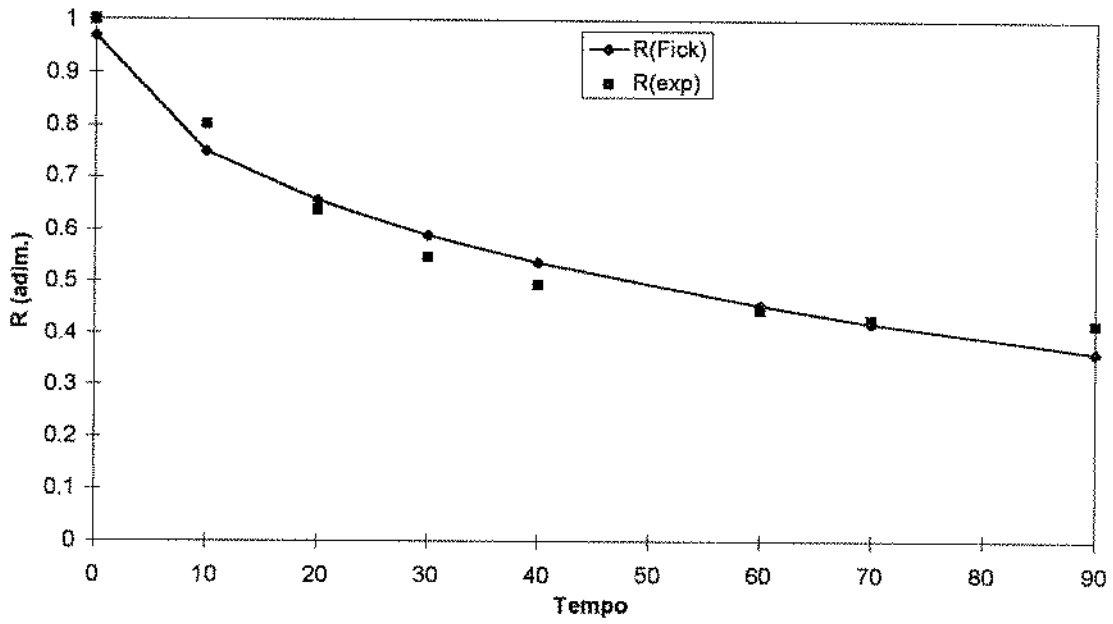


Figura A10 : Curvas de secagem experimental e calculada (Fick) para escoamento em queda livre, a 50°C, velocidade do ar 0,7 m/s e vazão de grãos 160 g/s.

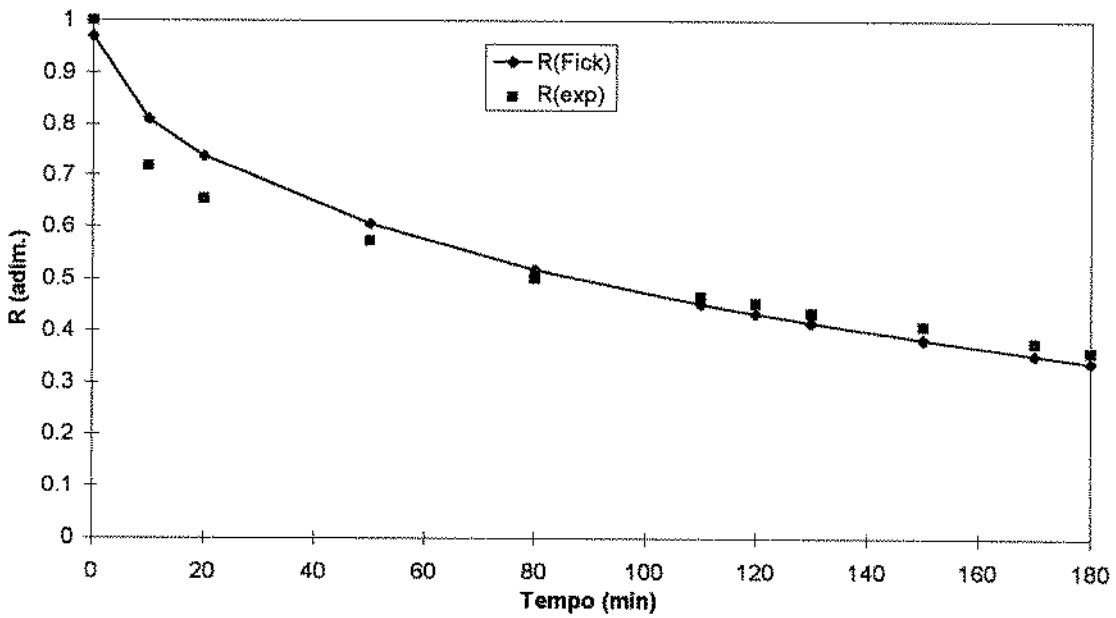


Figura A11 : Curvas de secagem experimental e calculada (Fick) para escoamento em queda livre, a 50°C, velocidade do ar 1 m/s e vazão de grãos 160 g/s.

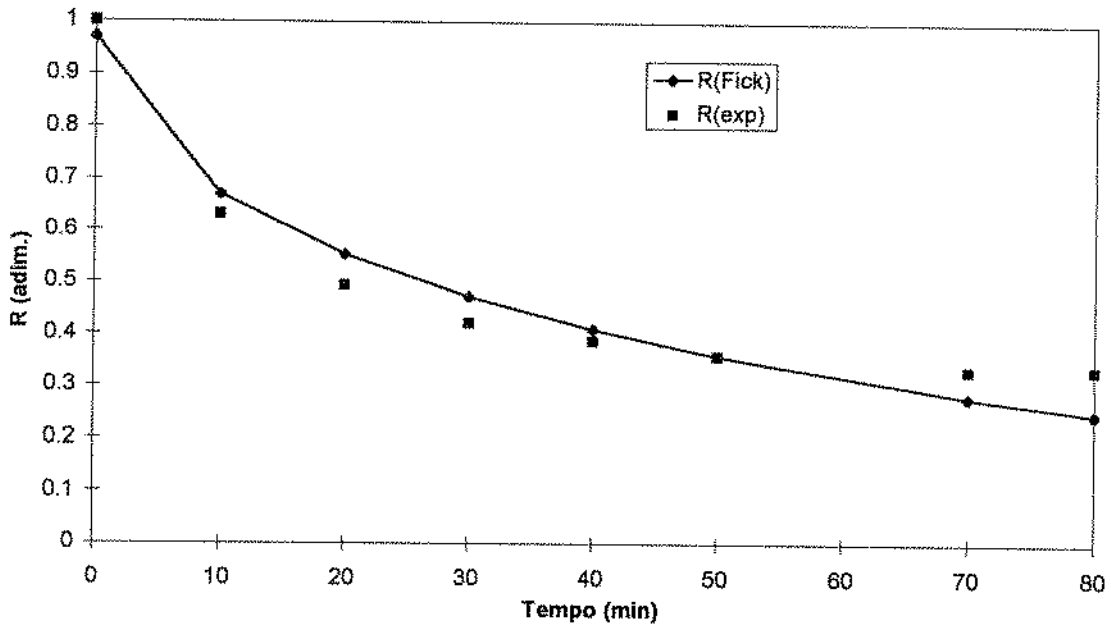


Figura A12 : Curvas de secagem experimental e calculada (Fick) para escoamento em queda livre, a 50°C, velocidade do ar 1 m/s e vazão de grãos 210 g/s.

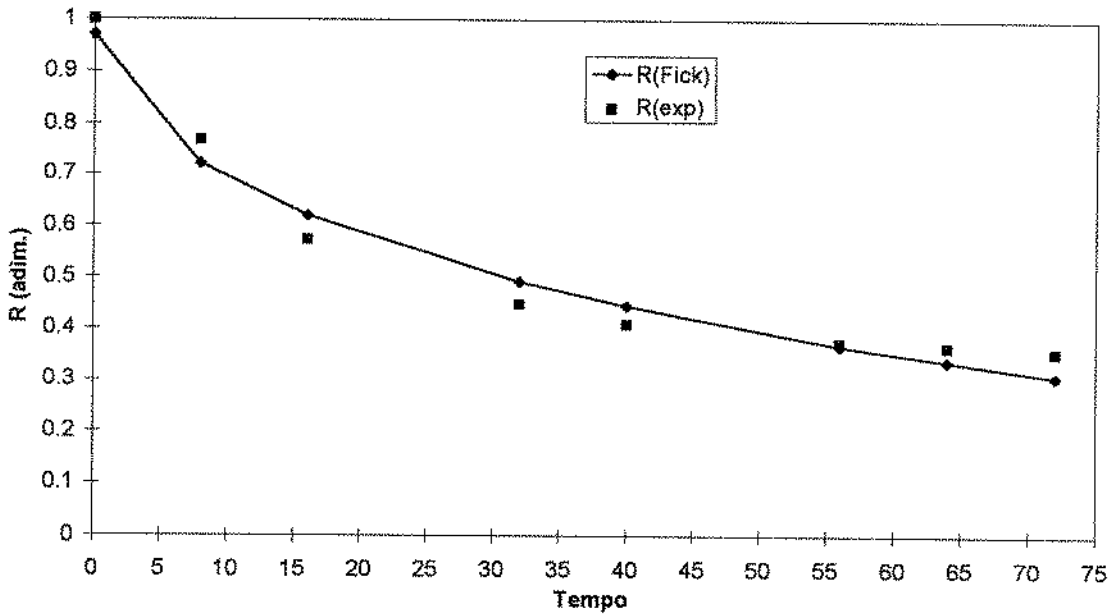


Figura A13 : Curvas de secagem experimental e calculada (Fick) para escoamento em queda livre, a 60°C, velocidade do ar de 0,7 m/s e vazão de grãos 210 g/s.

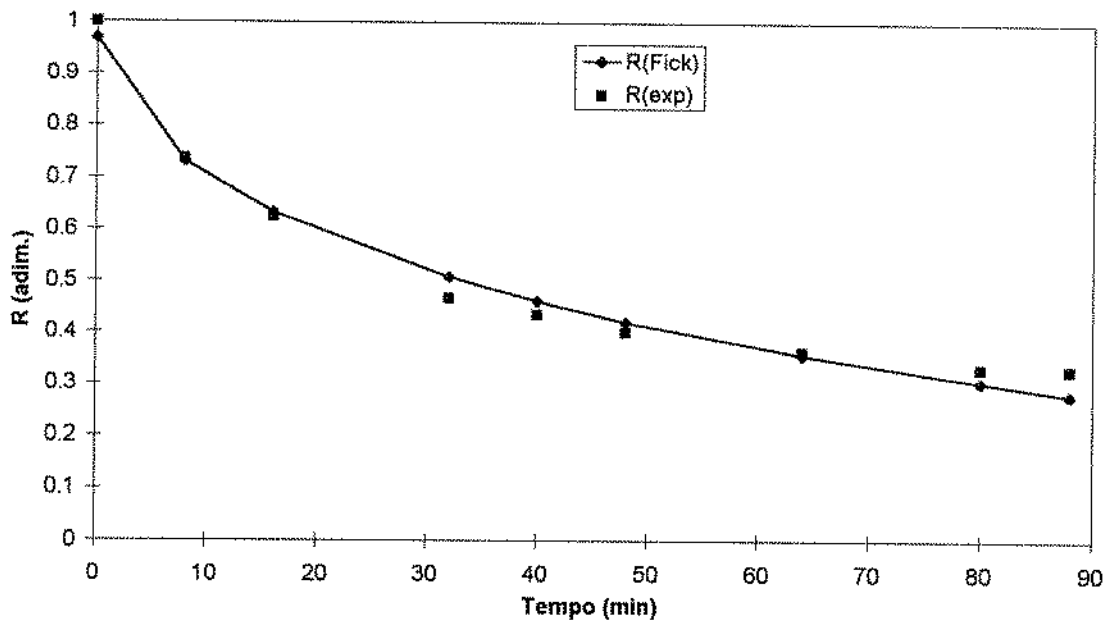


Figura A14 : Curvas de secagem experimental e calculada (Fick) para escoamento em queda livre, a 60°C, velocidade do ar de 0,7 m/s e vazão de grãos 160 g/s.

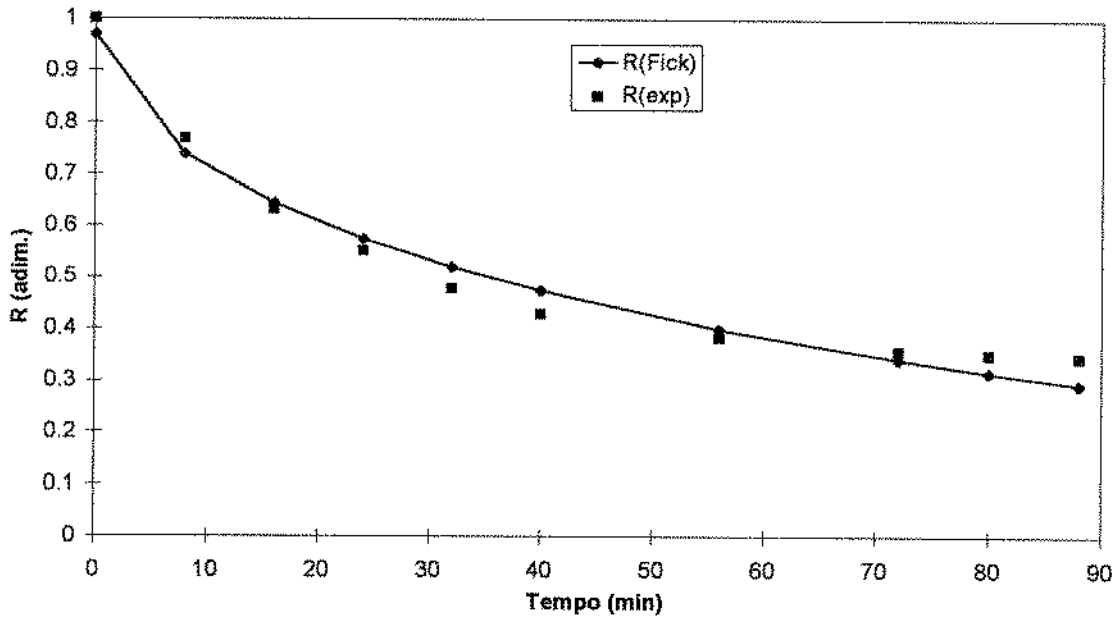


Figura A15 : Curvas de secagem experimental e calculada (Fick) para escoamento em queda livre, a 60°C, velocidade do ar de 1 m/s e vazão de grãos 160 g/s.

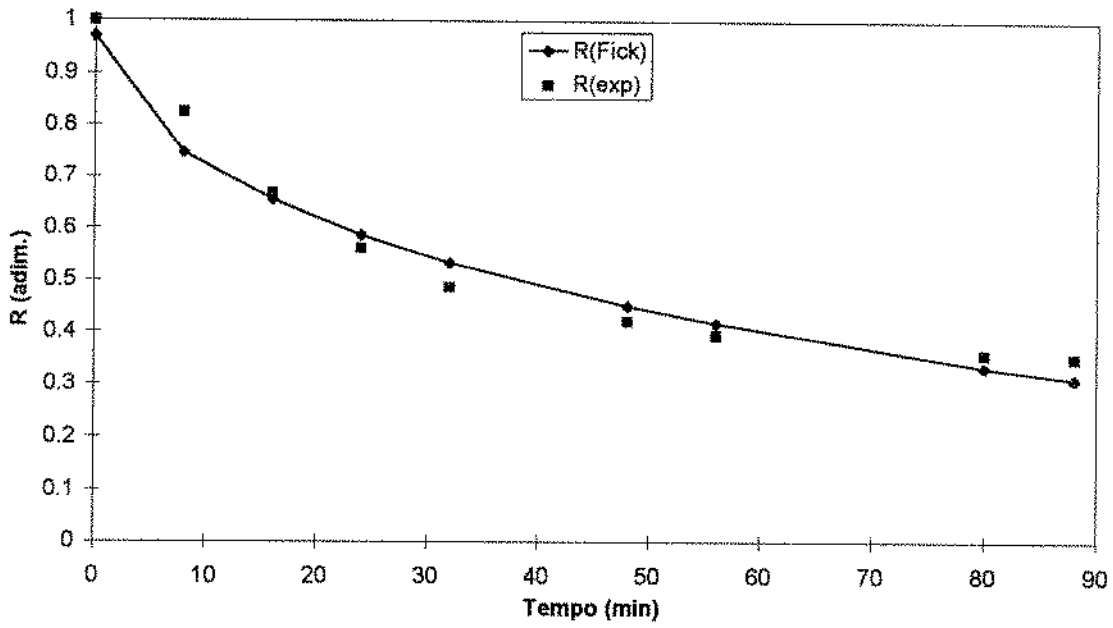


Figura A16 : Curvas de secagem experimental e calculada (Fick) para escoamento em queda livre, a 60°C, velocidade do ar de 1 m/s e vazão de grãos 210 g/s.

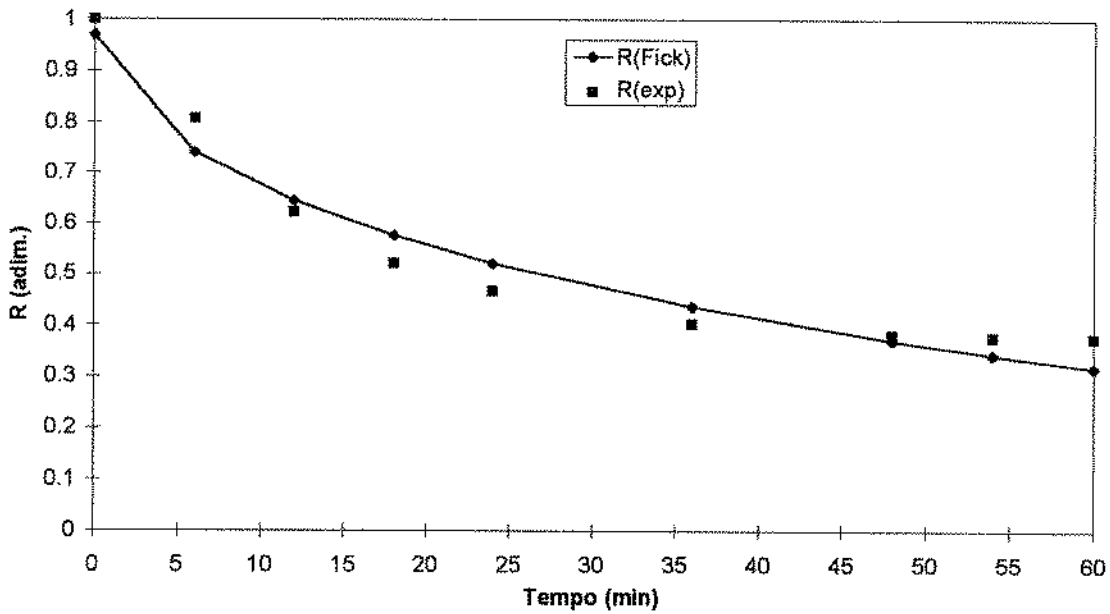


Figura A17 : Curvas de secagem experimental e calculada (Fick) para escoamento em queda livre, a 70°C, velocidade do ar de 1 m/s e vazão de grãos 210 g/s.

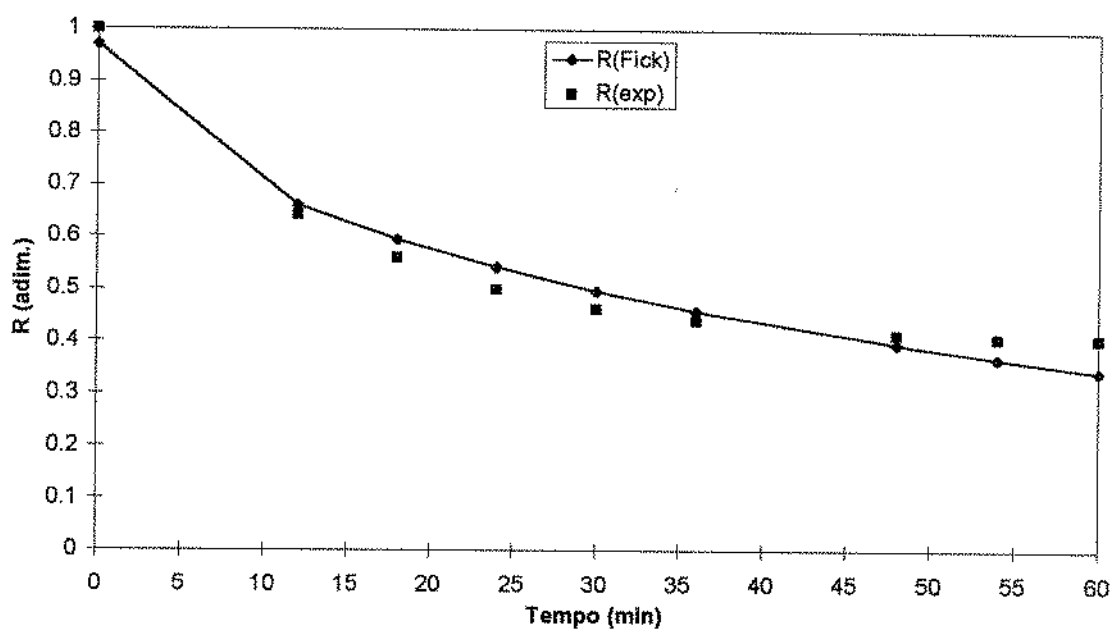


Figura A18 : Curvas de secagem experimental e calculada (Fick) para escoamento em queda livre, a 70°C, velocidade do ar de 1 m/s e vazão de grãos 160 g/s.

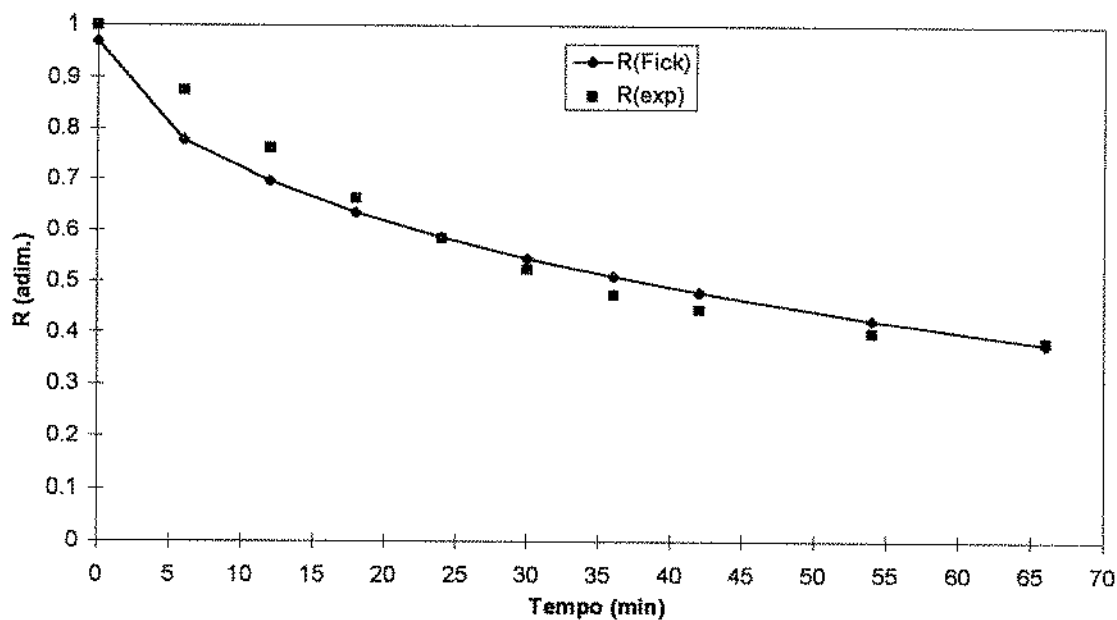


Figura A19 : Curvas de secagem experimental e calculada (Fick) para escoamento em queda livre, a 70°C, velocidade do ar de 0,7 m/s e vazão de grãos 160 g/s.

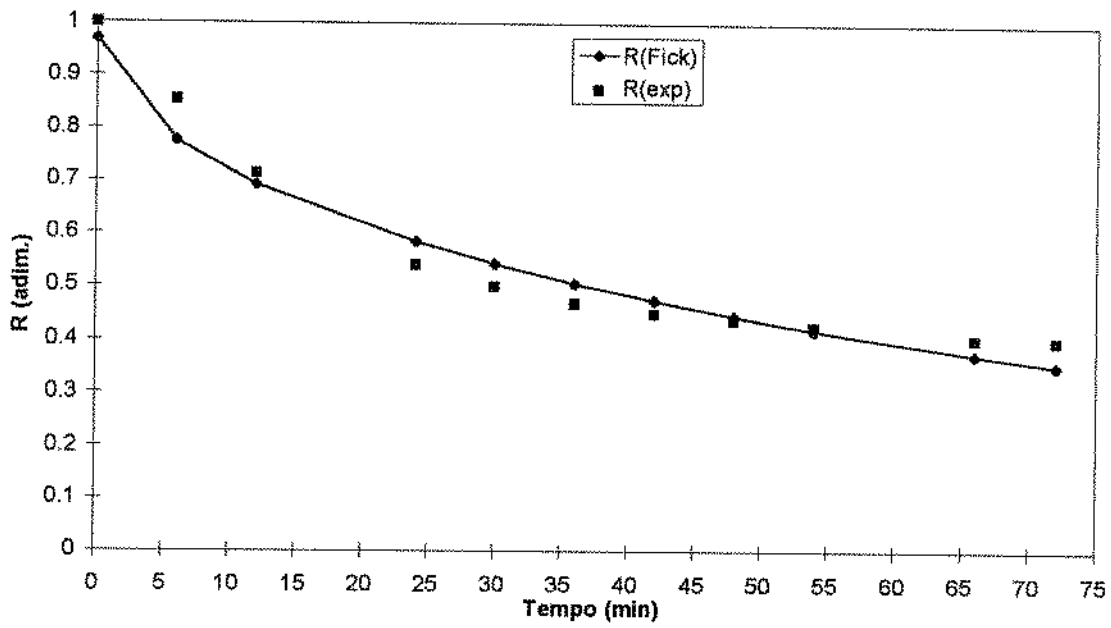


Figura A20 : Curvas de secagem experimental e calculada (Fick) para escoamento em queda livre, a 70°C, velocidade do ar de 0,7 m/s e vazão de grãos 210 g/s.

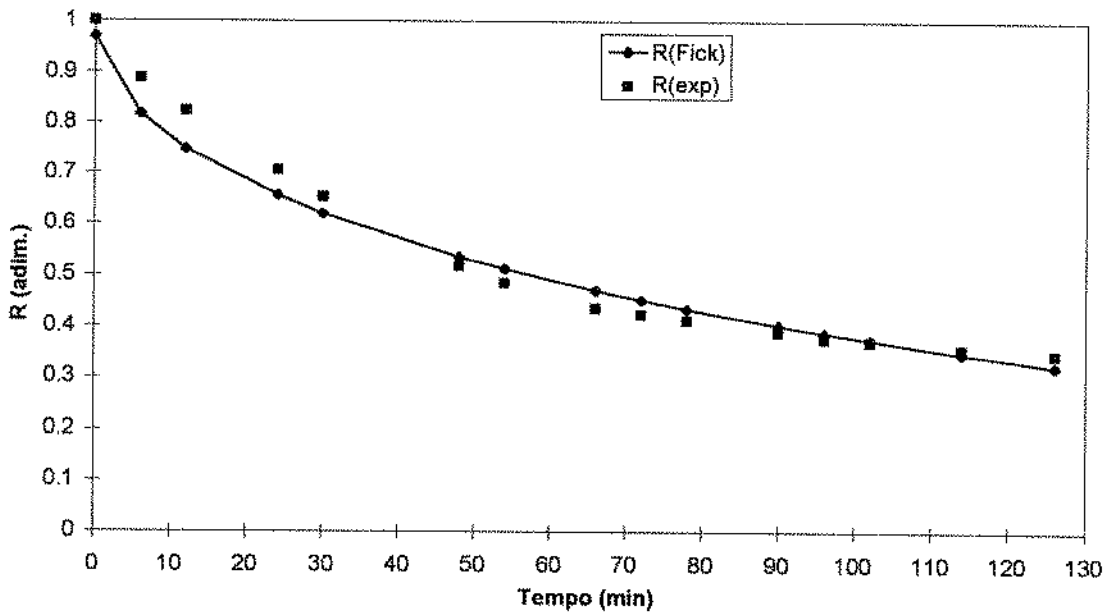


Figura A21 : Curvas de secagem experimental e calculada (Fick) para escoamento denso, a 70°C, velocidade do ar de 0,7 m/s e vazão de grãos de 160 g/s.

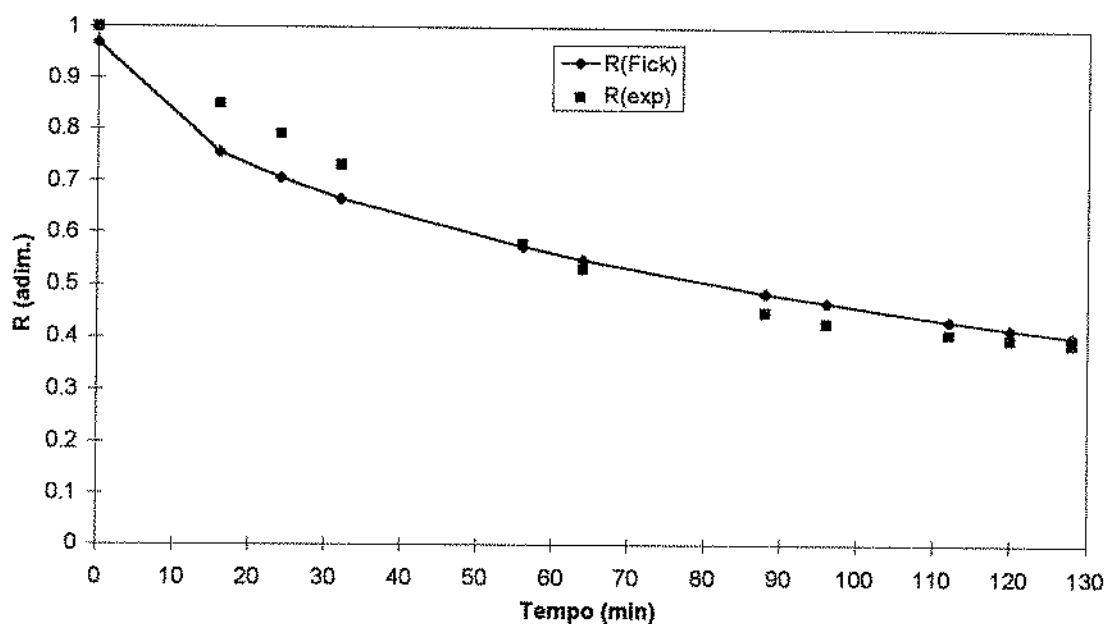


Figura A22 : Curvas de secagem experimental e calculada (Fick) para escoamento denso, a 70°C, velocidade do ar de 0,7 m/s e vazão de grãos de 210 g/s.

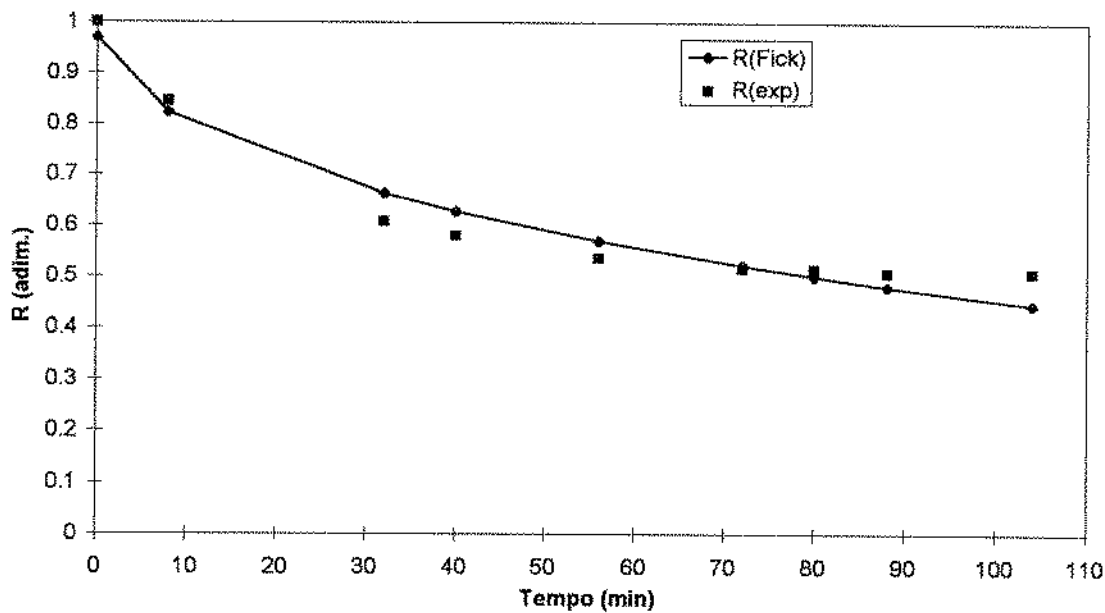


Figura A23 : Curvas de secagem experimental e calculada (Fick) para escoamento denso, a 70°C, velocidade do ar de 1 m/s e vazão de grãos de 160 g/s.



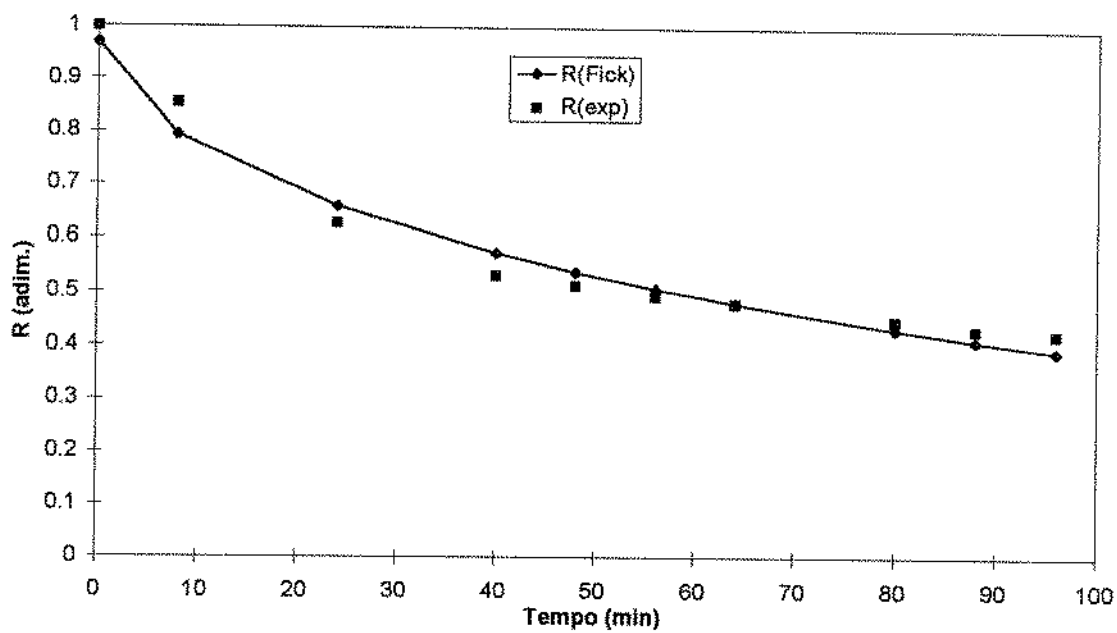


Figura A24 : Curvas de secagem experimental e calculada (Fick) para escoamento denso, a 70°C, velocidade do ar de 1 m/s e vazão de grãos de 210 g/s.

## ANEXO 6

As curvas experimentais e calculadas pelo modelo de Page estão mostradas, para cada corrida experimental, nas figuras de A25 a A48.

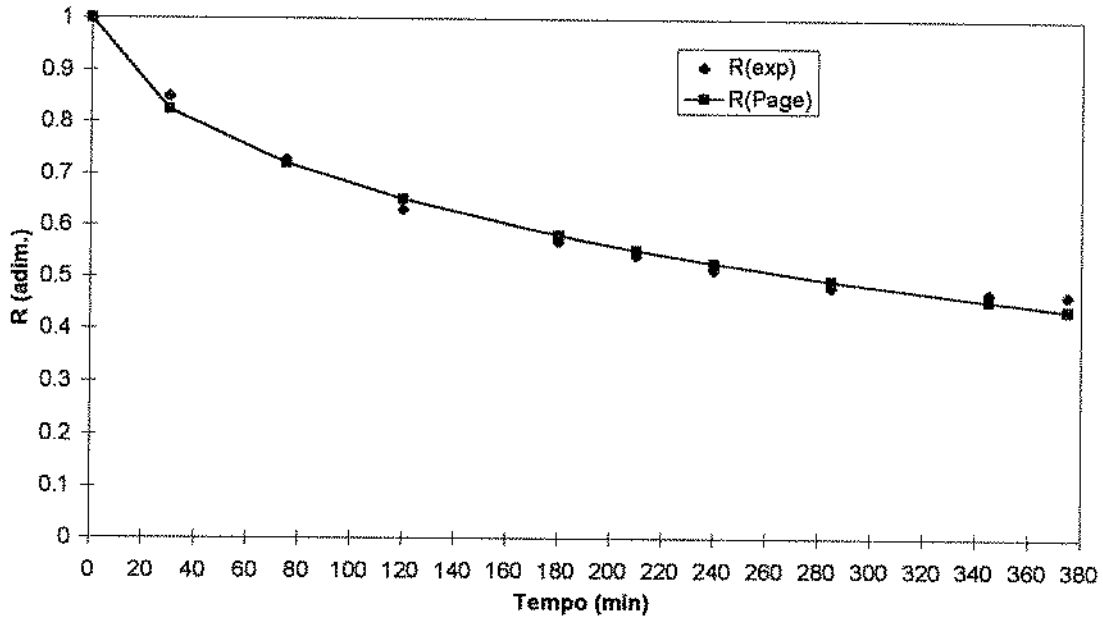


Figura A25: Curvas de secagem experimental e calculada (Page) para escoamento denso, a 60°C, velocidade do ar de 0,7 m/s e vazão de grãos de 160 g/s.

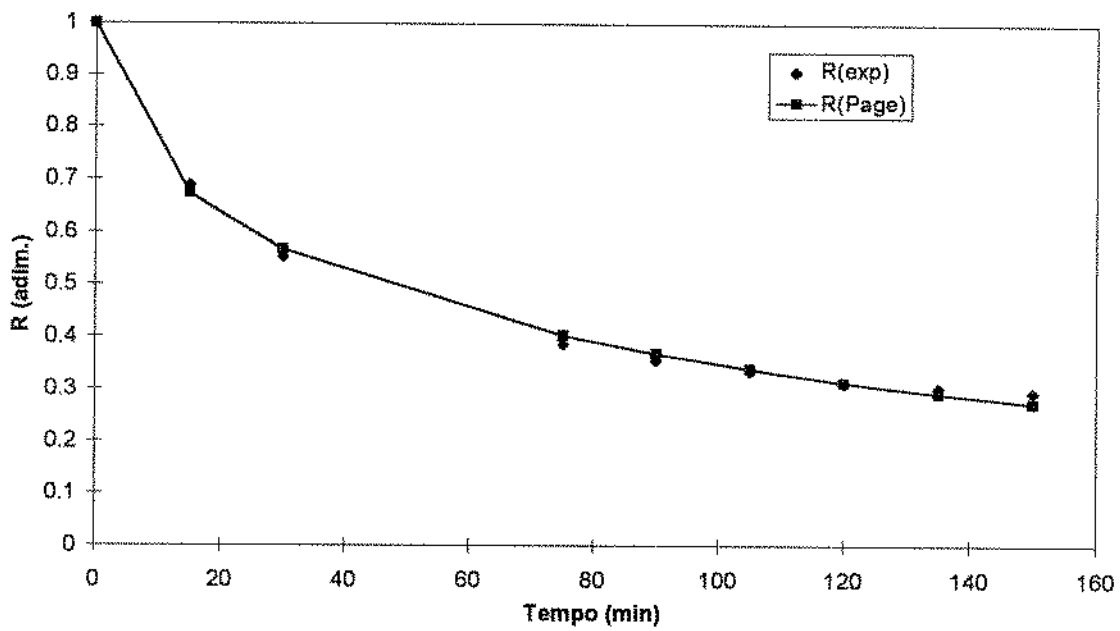


Figura A26 : Curvas de secagem experimental e calculada (Page) para escoamento denso, a 60°C, velocidade do ar de 0,7 m/s e vazão de grãos de 210 g/s.

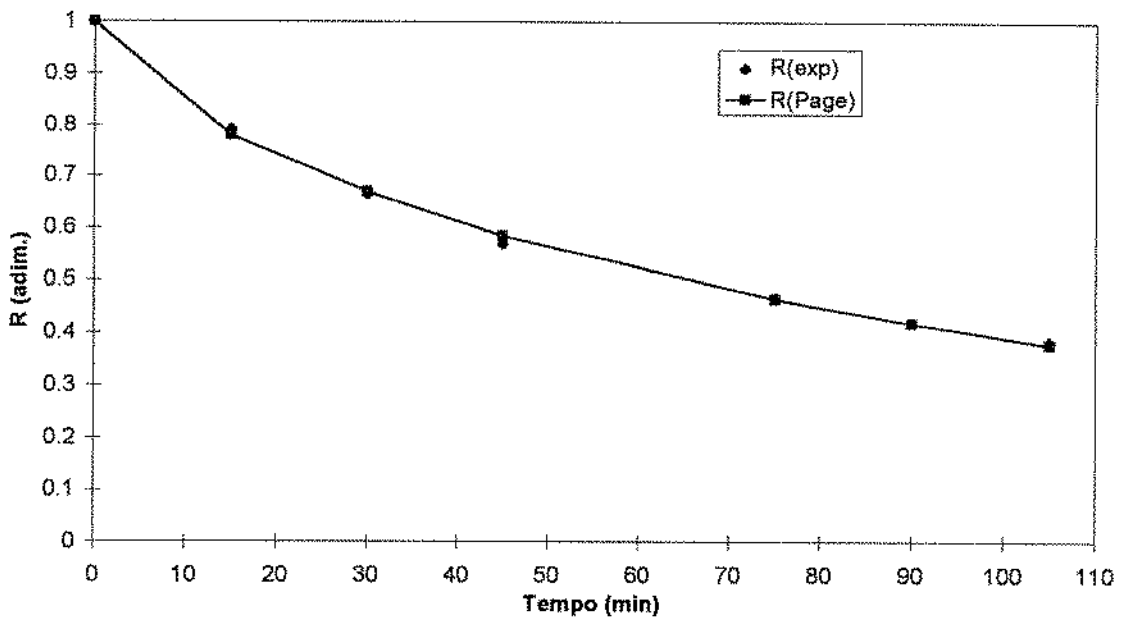


Figura A27 : Curvas de secagem experimental e calculada (Page) para escoamento denso, a 60°C, velocidade do ar de 1 m/s e vazão de grãos de 160 g/s.

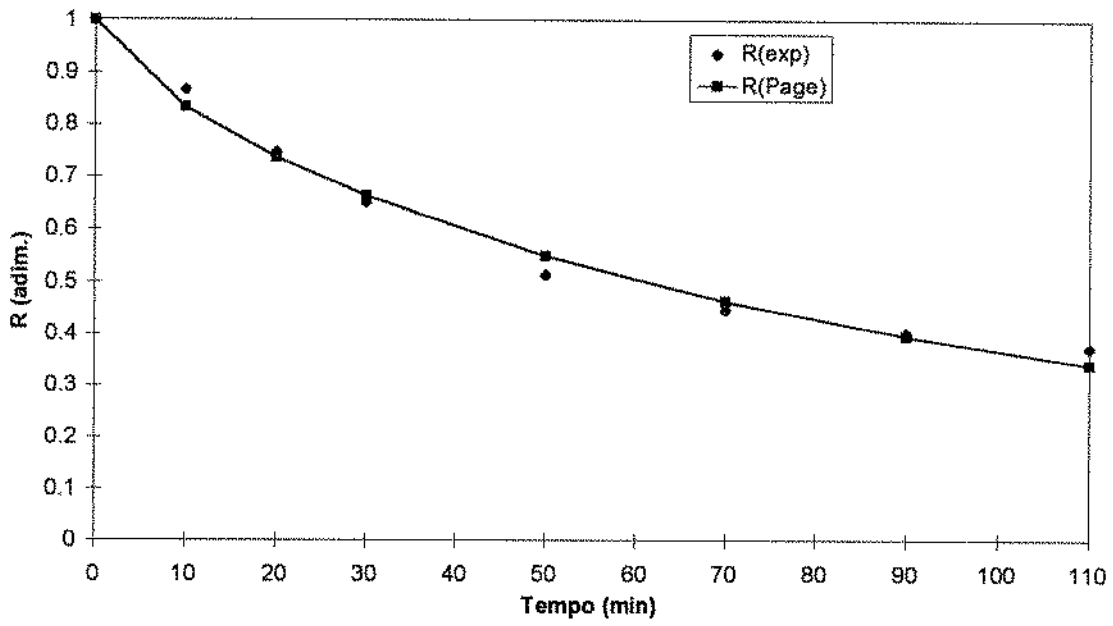


Figura A28 : Curvas de secagem experimental e calculada (Page) para escoamento denso, a 60°C, velocidade do ar de 1 m/s e vazão de grãos de 210 g/s.

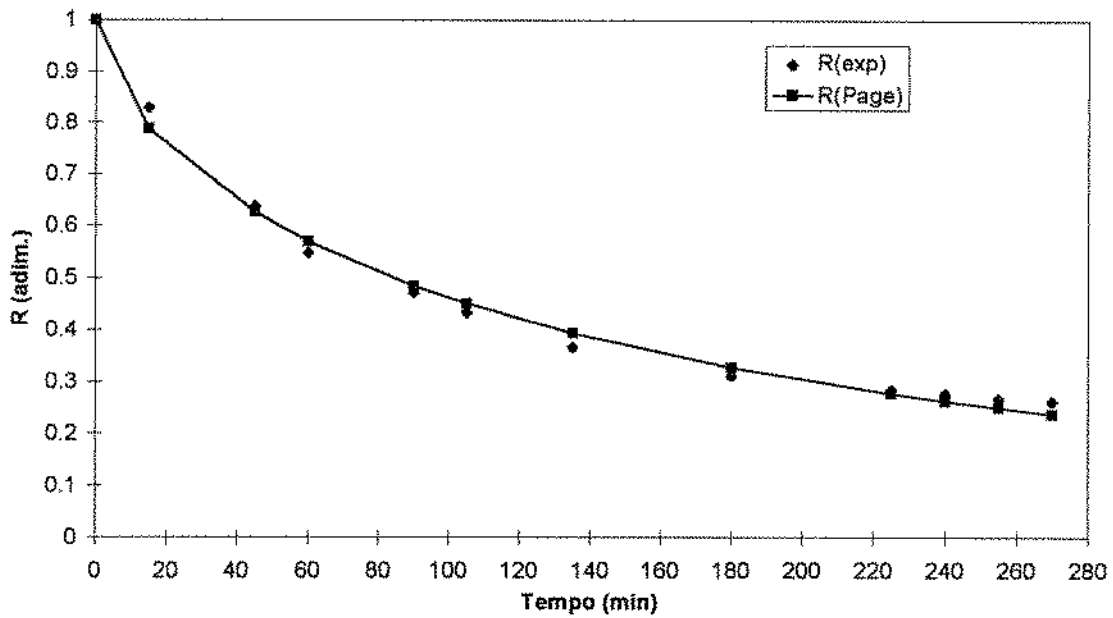


Figura A29 : Curvas de secagem experimental e calculada (Page) para escoamento denso, a 50°C, velocidade do ar de 0,7 m/s e vazão de grãos de 160 g/s.

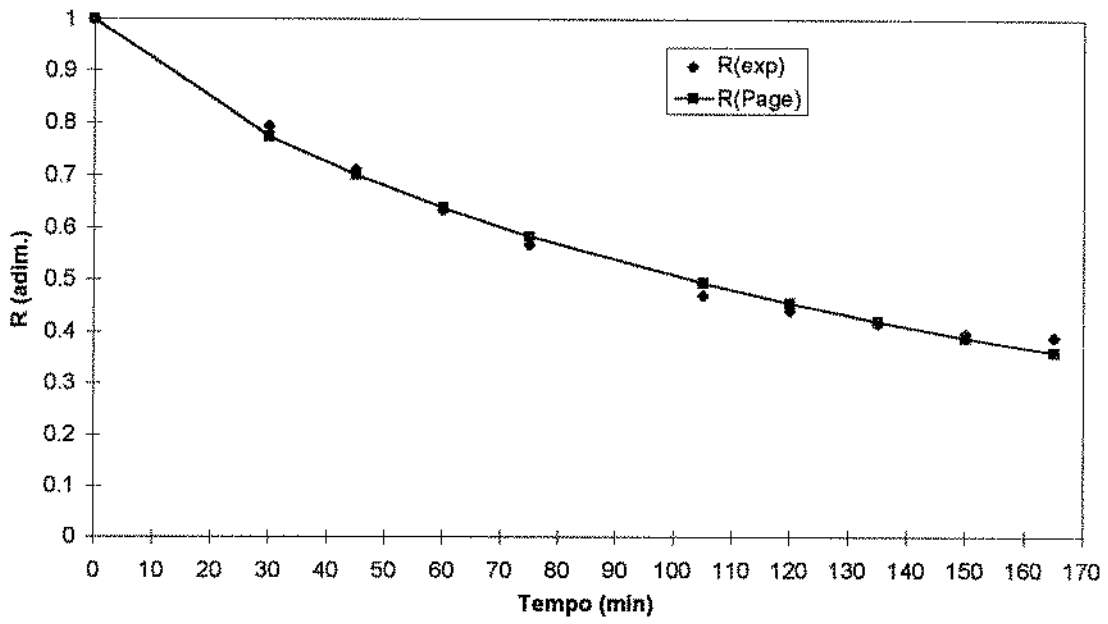


Figura A30 : Curvas de secagem experimental e calculada (Page) para escoamento denso, a 50°C, velocidade do ar de 0,7 m/s e vazão de grãos de 210 g/s.

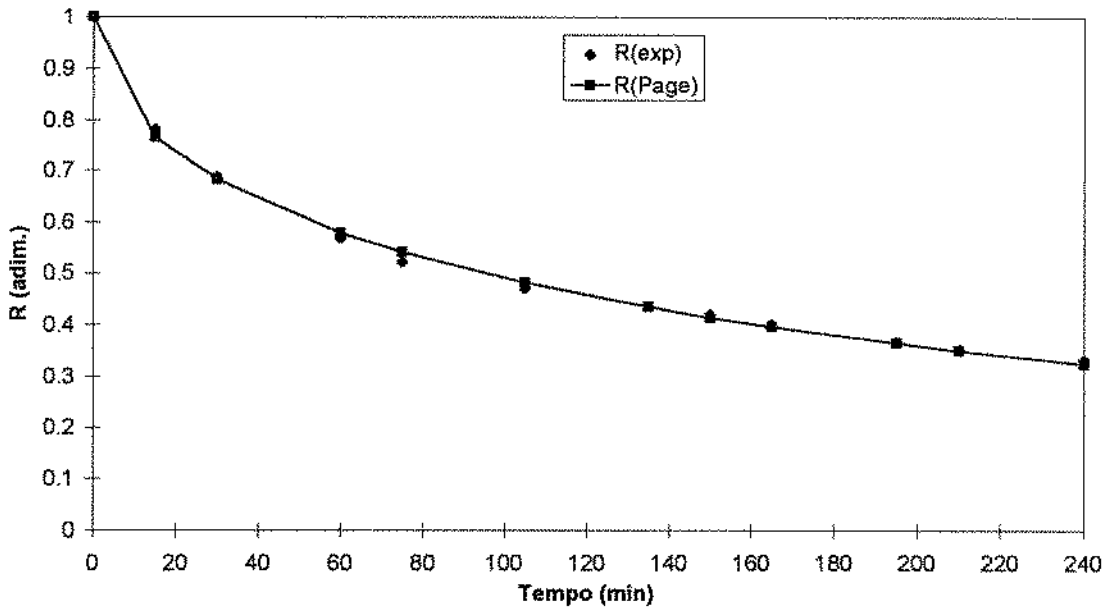


Figura A31 : Curvas de secagem experimental e calculada (Page) para escoamento denso, a 50°C, velocidade do ar de 1 m/s e vazão de grãos de 160 g/s.

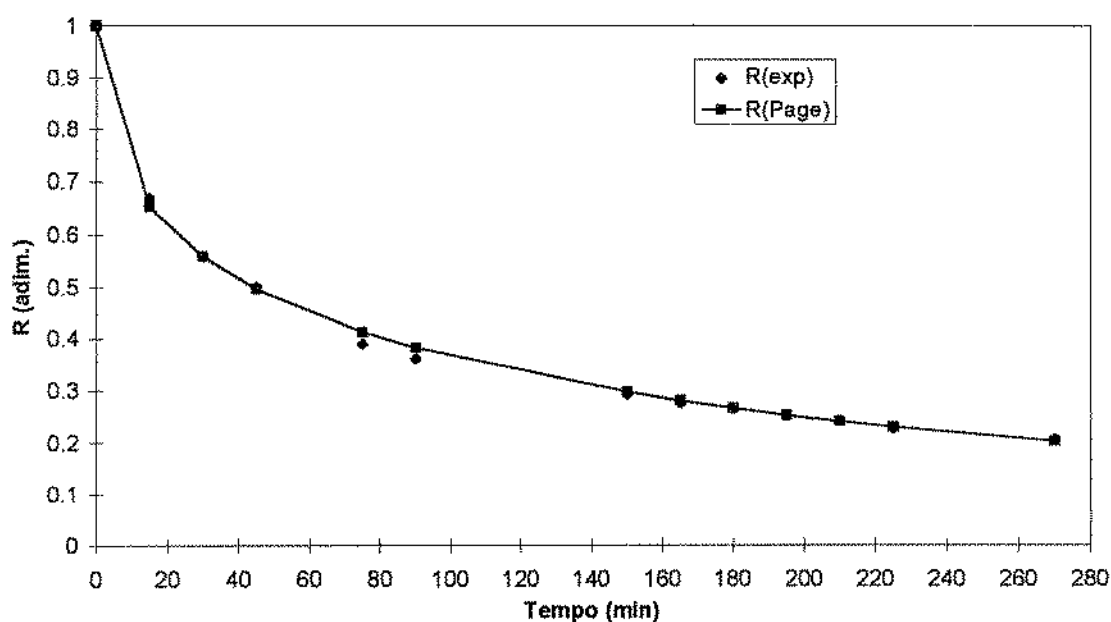


Figura A32 : Curvas de secagem experimental e calculada (Page) para escoamento denso, a 50°C, velocidade do ar de 1 m/s e vazão de grãos de 210 g/s.

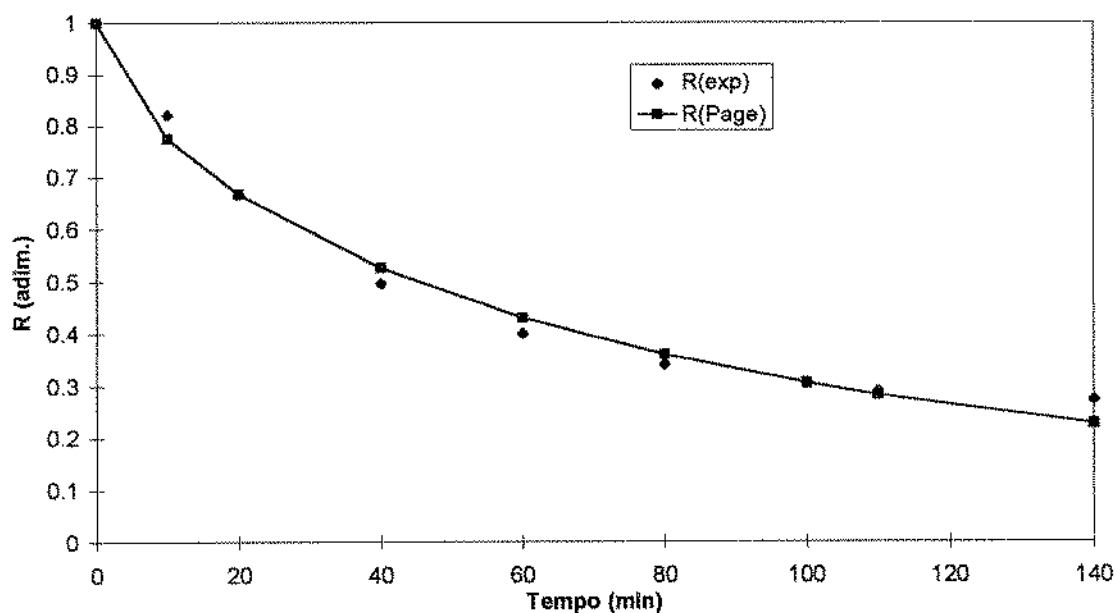


Figura A33 : Curvas de secagem experimental e calculada (Page) para escoamento em queda livre, a 50°C, velocidade do ar 0,7 m/s e vazão de grãos 210 g/s.

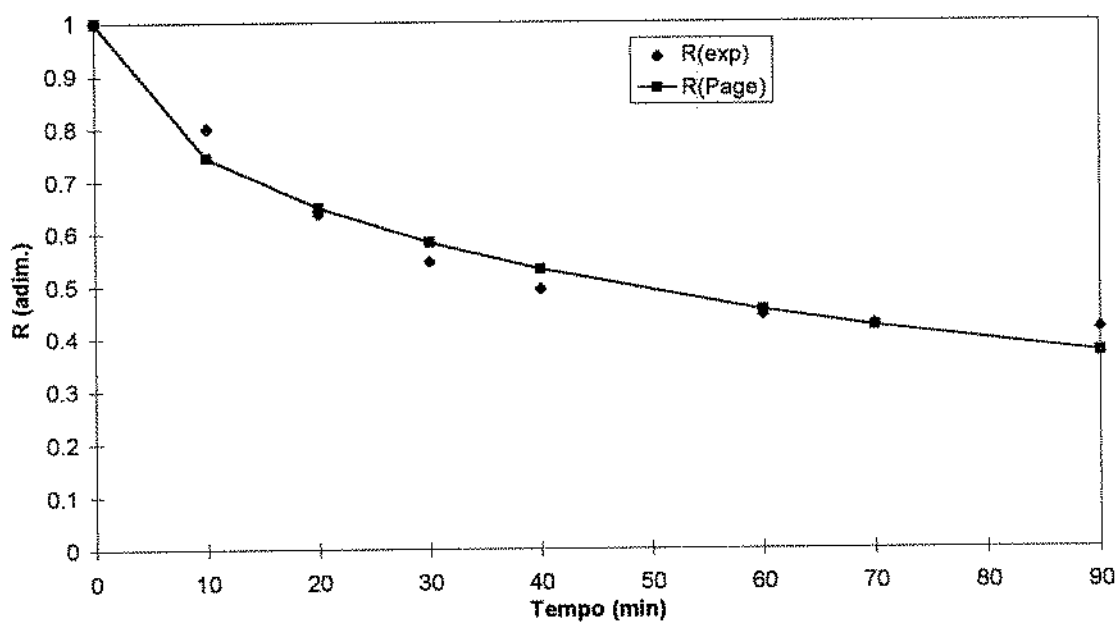


Figura A34 : Curvas de secagem experimental e calculada (Page) para escoamento em queda livre, a 50°C, velocidade do ar 0,7 m/s e vazão de grãos 160 g/s.

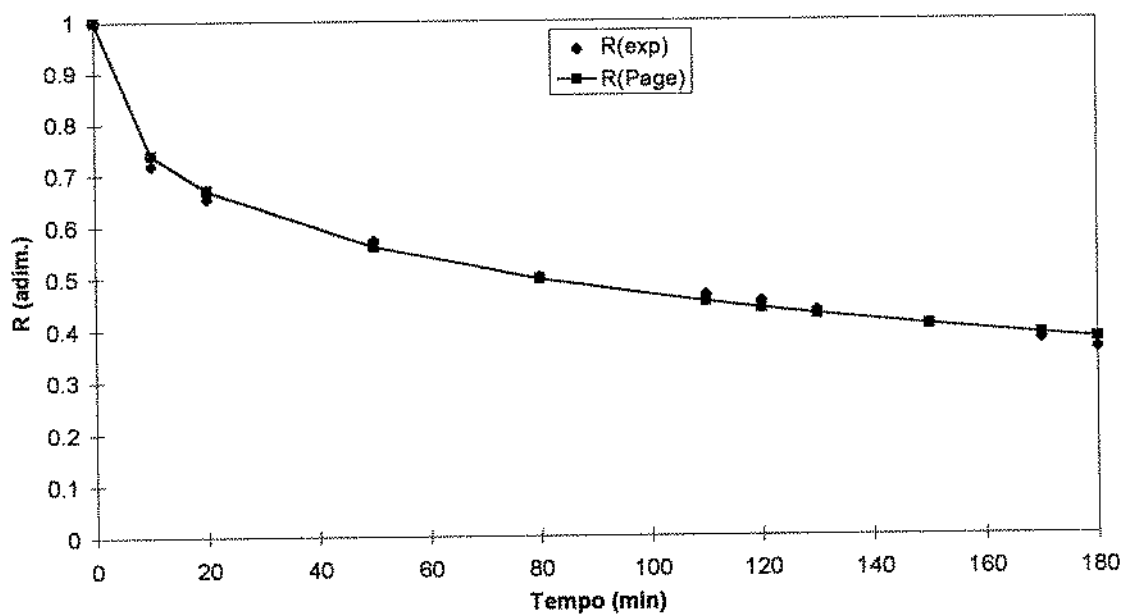


Figura A35 : Curvas de secagem experimental e calculada (Page) para escoamento em queda livre, a 50°C, velocidade do ar 1 m/s e vazão de grãos 160 g/s.

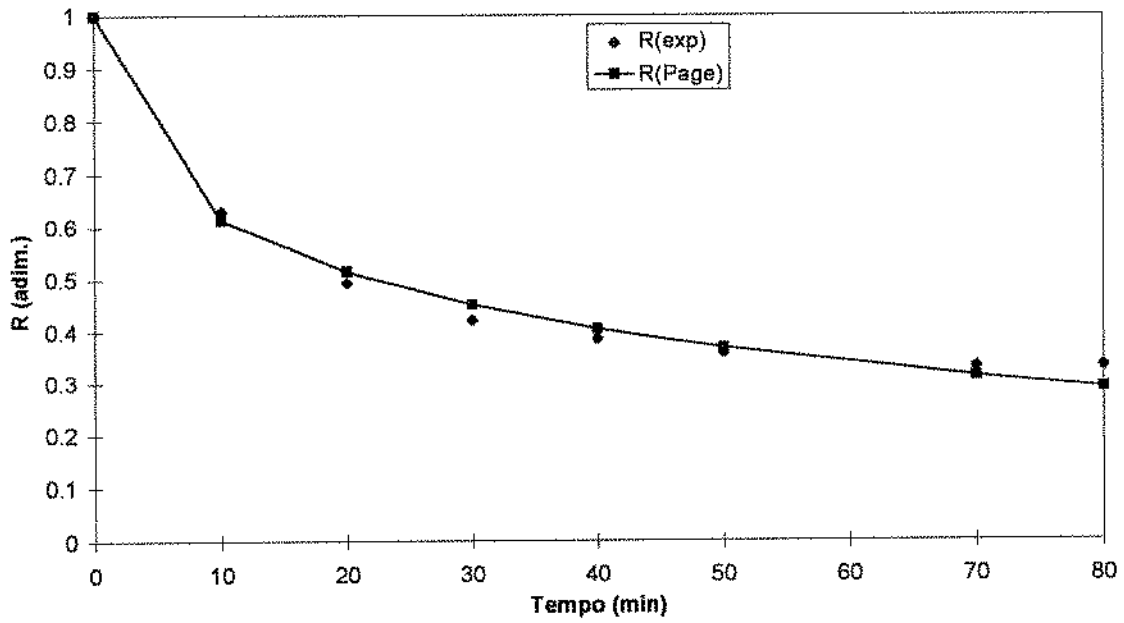


Figura A36 : Curvas de secagem experimental e calculada (Page) para escoamento em queda livre, a 50°C, velocidade do ar 1 m/s e vazão de grãos 210 g/s.

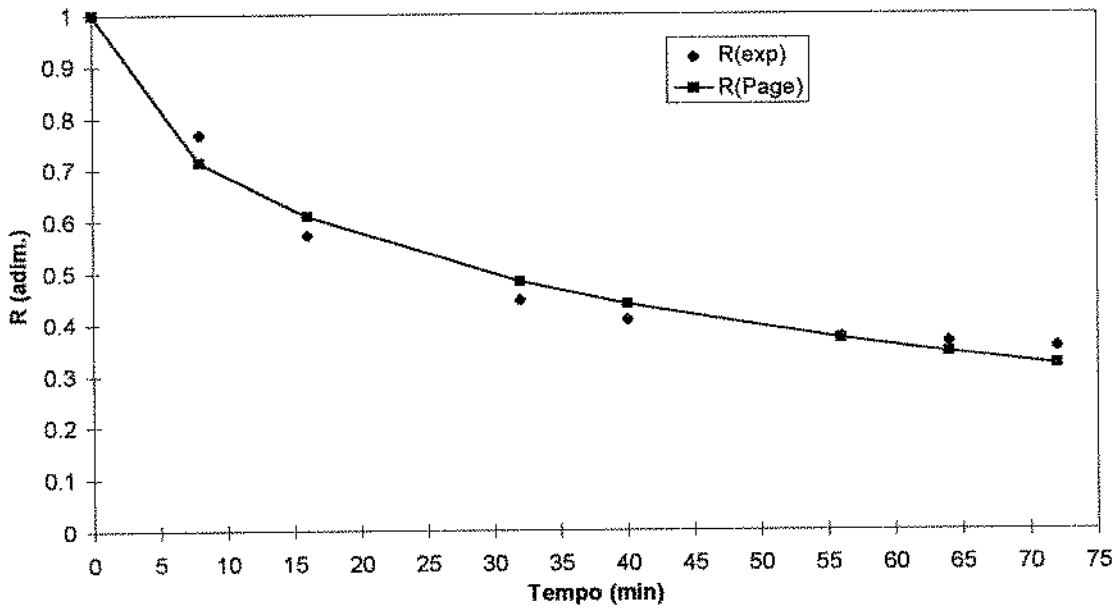


Figura A37 : Curvas de secagem experimental e calculada (Page) para escoamento em queda livre, a 60°C, velocidade do ar de 0,7 m/s e vazão de grãos 210 g/s.



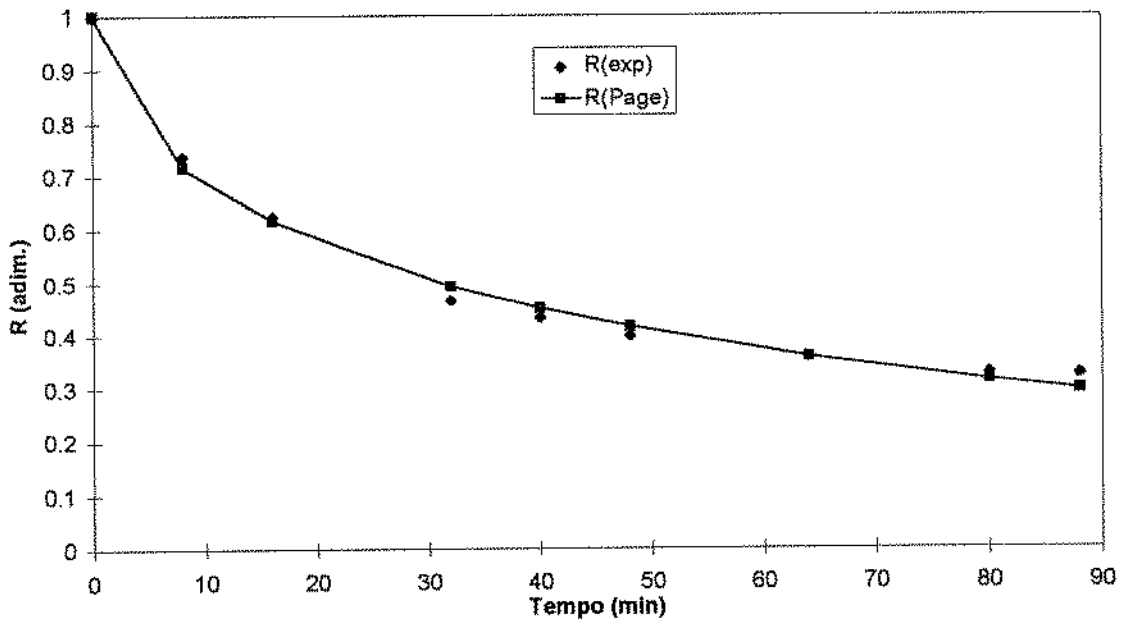


Figura A38 : Curvas de secagem experimental e calculada (Page) para escoamento em queda livre, a 60°C, velocidade do ar de 0,7 m/s e vazão de grãos 160 g/s.

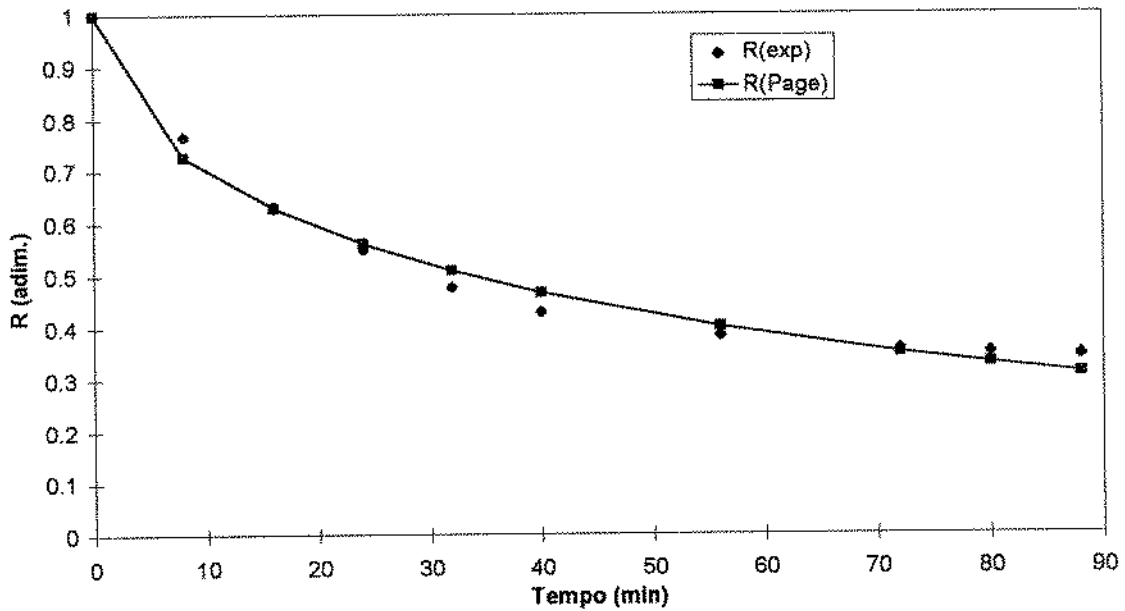


Figura A39 : Curvas de secagem experimental e calculada (Page) para escoamento em queda livre, a 60°C, velocidade do ar de 1 m/s e vazão de grãos 160 g/s.

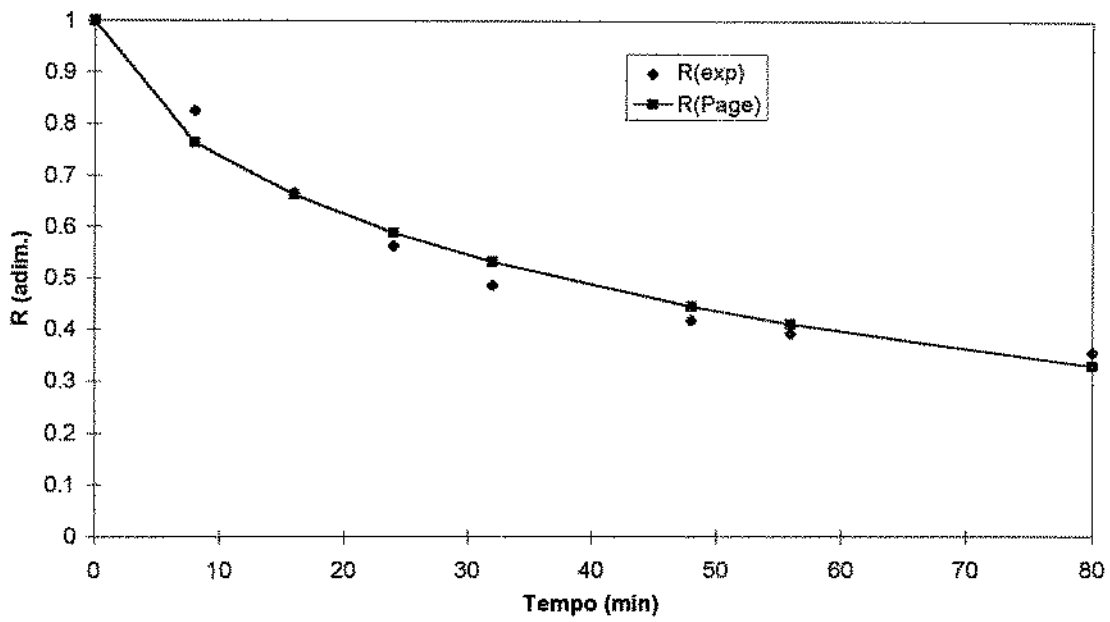


Figura A40 : Curvas de secagem experimental e calculada (Page) para escoamento em queda livre, a 60°C, velocidade do ar de 1 m/s e vazão de grãos 210 g/s.

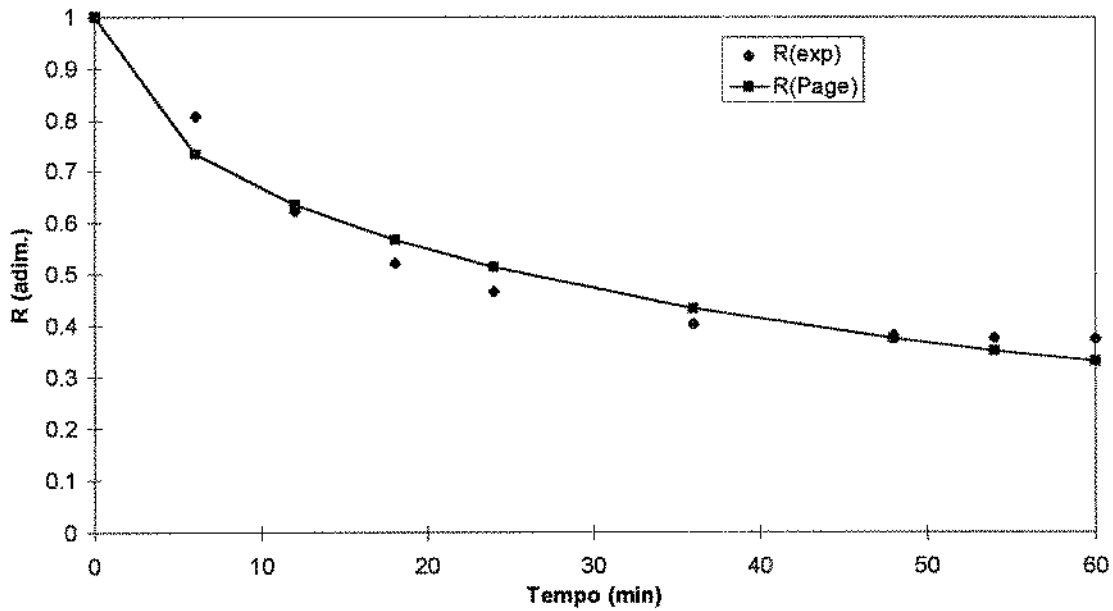


Figura A41 : Curvas de secagem experimental e calculada (Page) para escoamento em queda livre, a 70°C, velocidade do ar de 1 m/s e vazão de grãos 210 g/s.

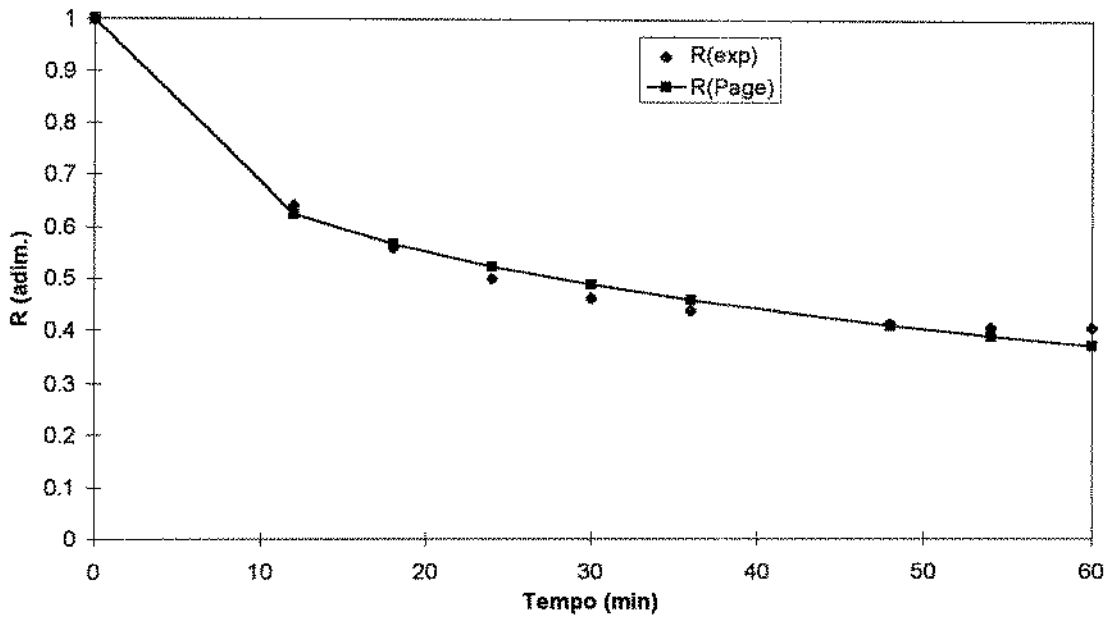


Figura A42 : Curvas de secagem experimental e calculada (Page) para escoamento em queda livre, a 70°C, velocidade do ar de 1 m/s e vazão de grãos 160 g/s.

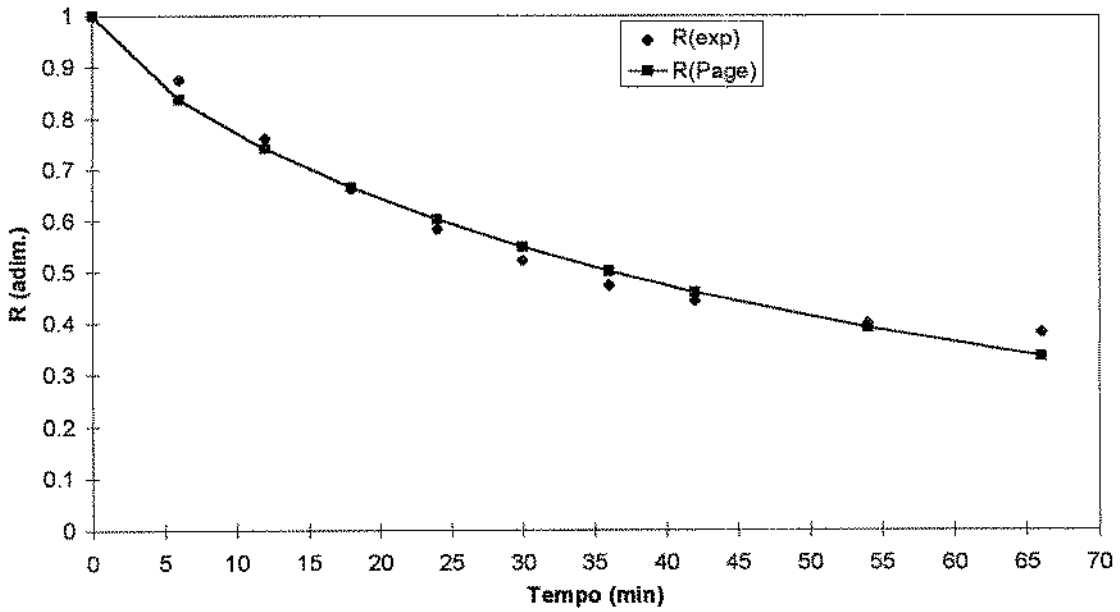


Figura A43 : Curvas de secagem experimental e calculada (Page) para escoamento em queda livre, a 70°C, velocidade do ar de 0,7 m/s e vazão de grãos 160 g/s.

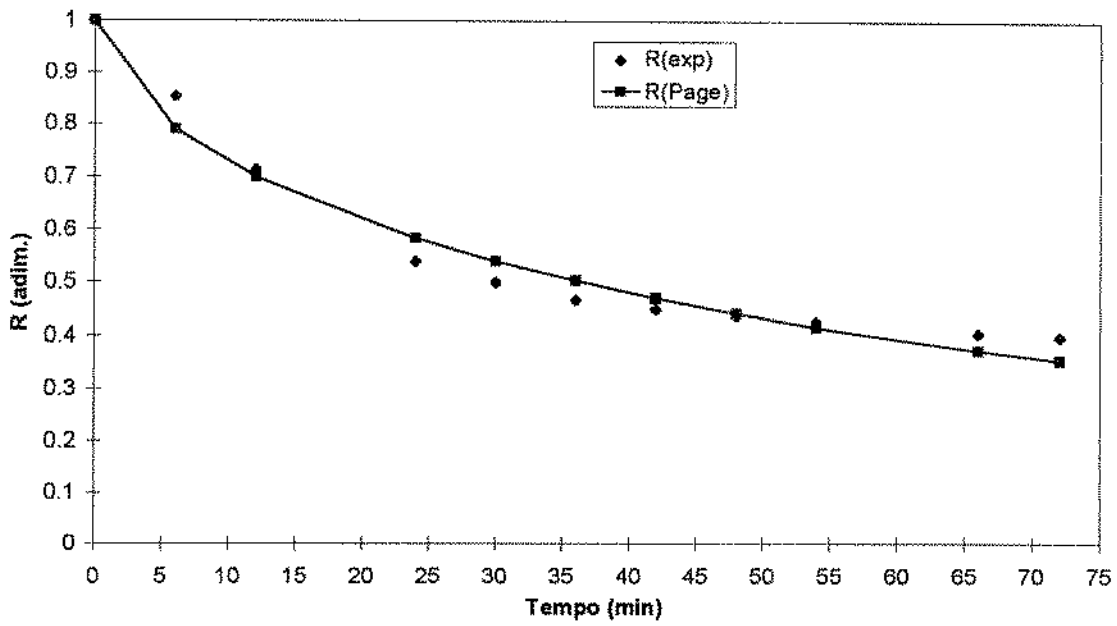


Figura A44 : Curvas de secagem experimental e calculada (Page) para escoamento em queda livre, a 70°C, velocidade do ar de 0,7 m/s e vazão de grãos 210 g/s.

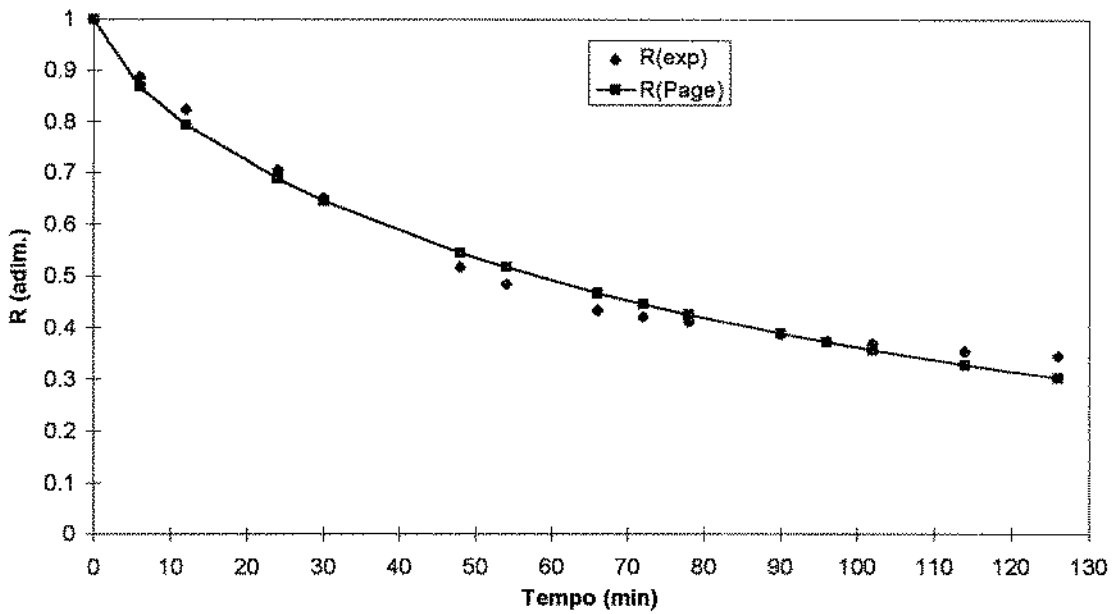


Figura A45 : Curvas de secagem experimental e calculada (Page) para escoamento denso, a 70°C, velocidade do ar de 0,7 m/s e vazão de grãos de 160 g/s.

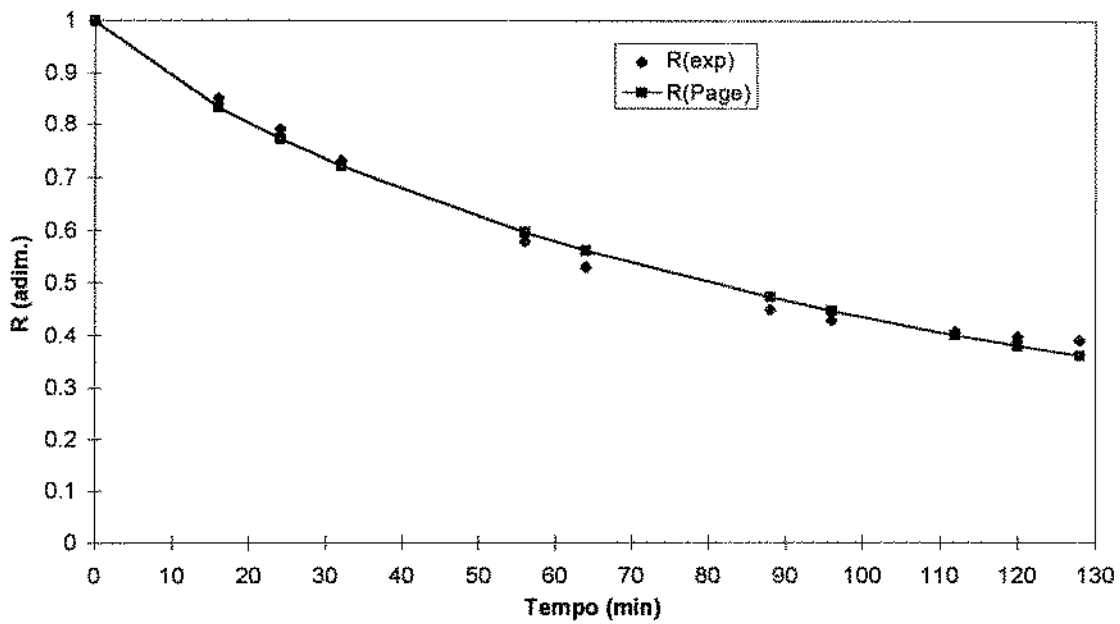


Figura A46 : Curvas de secagem experimental e calculada (Page) para escoamento denso, a 70°C, velocidade do ar de 0,7 m/s e vazão de grãos de 210 g/s.

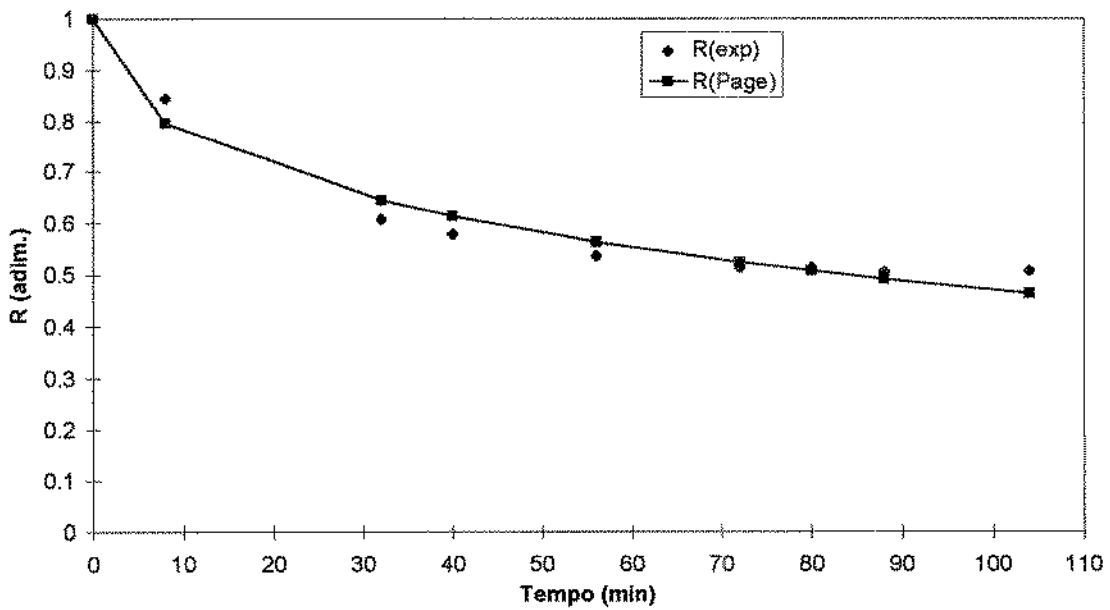


Figura A47 : Curvas de secagem experimental e calculada (Page) para escoamento denso, a 70°C, velocidade do ar de 1 m/s e vazão de grãos de 160 g/s.

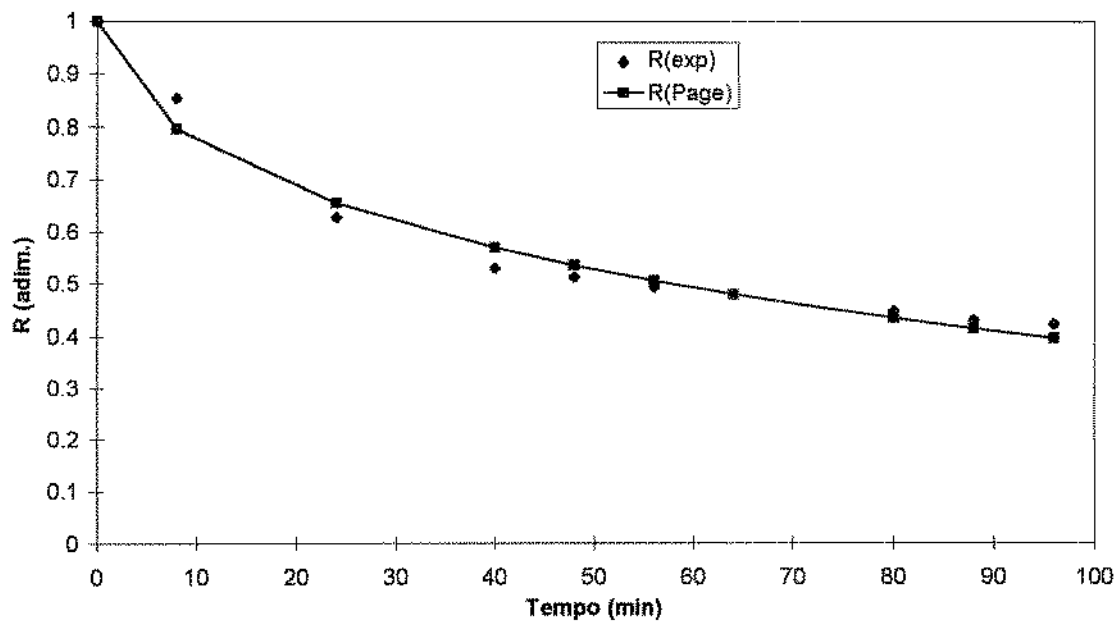


Figura A48 : Curvas de secagem experimental e calculada (Page) para escoamento denso, a 70°C, velocidade do ar de 1 m/s e vazão de grãos de 210 g/s.

## ANEXO 7

As curvas obtidas para cada uma das corridas experimentais são mostradas nas figuras A49 a A72.

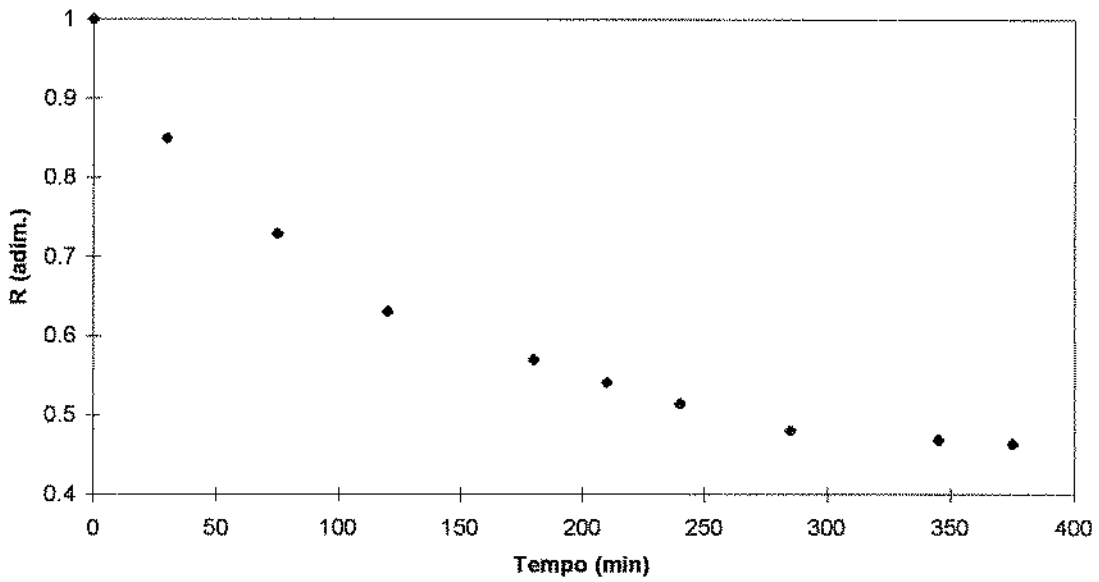


Figura A49: Curva de secagem experimental para escoamento denso, a 60°C, velocidade do ar de 0,7 m/s e vazão de grãos de 160 g/s.

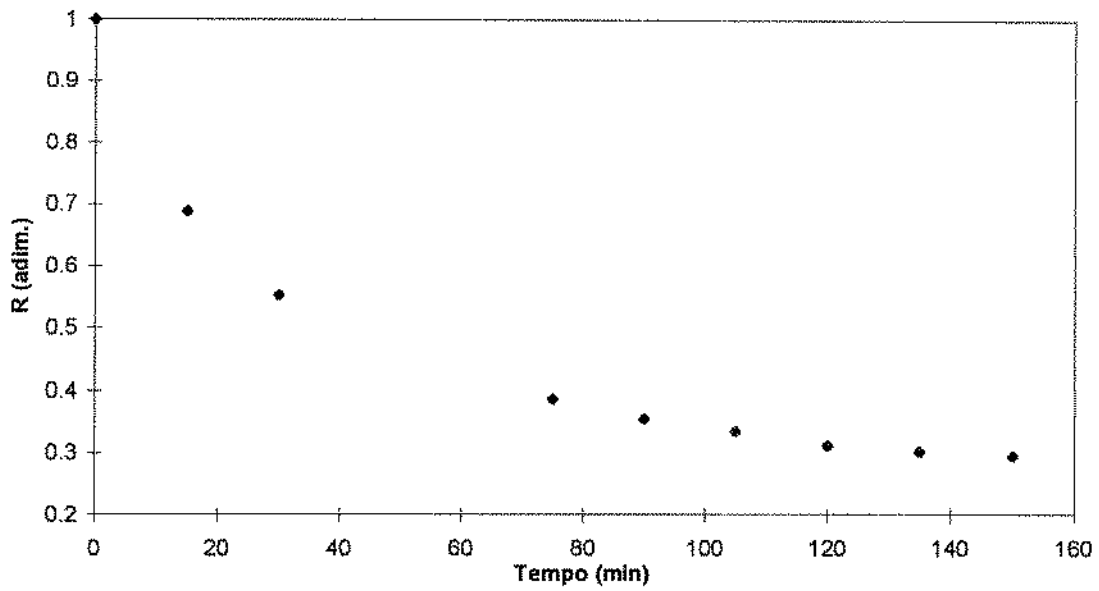


Figura A50 : Curva de secagem experimental para escoamento denso, a 60°C, velocidade do ar de 0,7 m/s e vazão de grãos de 210 g/s.

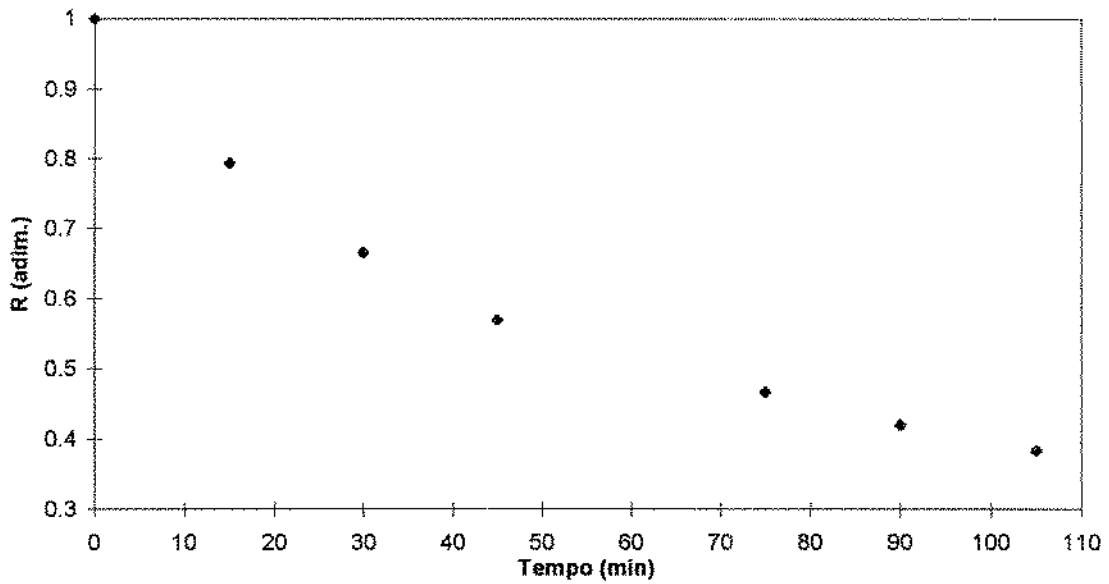


Figura A51 : Curva de secagem experimental para escoamento denso, a 60°C, velocidade do ar de 1 m/s e vazão de grãos de 160 g/s.



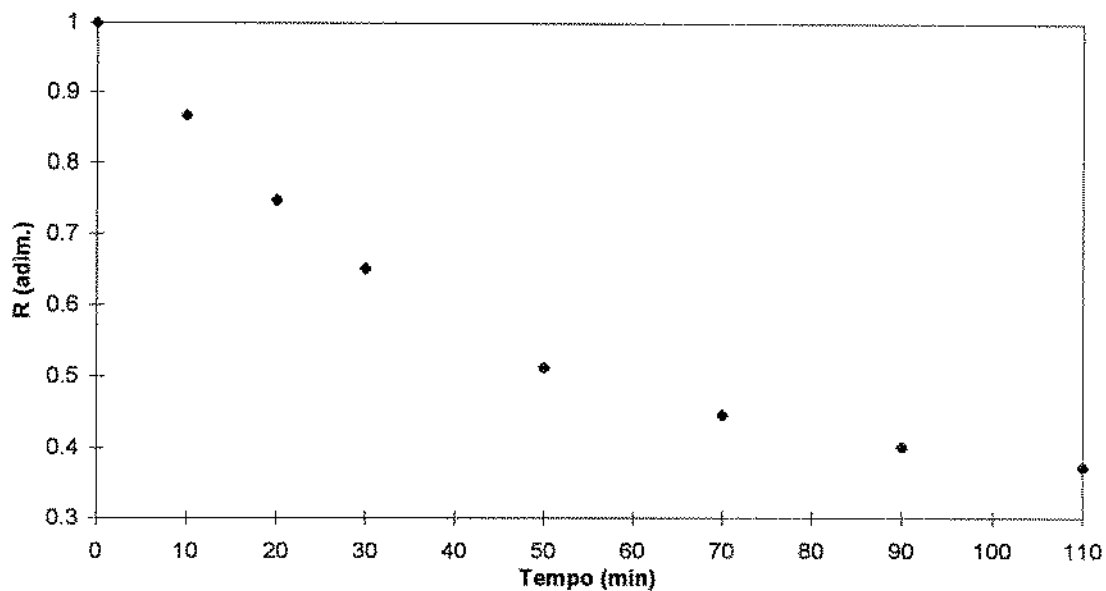


Figura A52 : Curva de secagem experimental para escoamento denso, a 60°C, velocidade do ar de 1 m/s e vazão de grãos de 210 g/s.

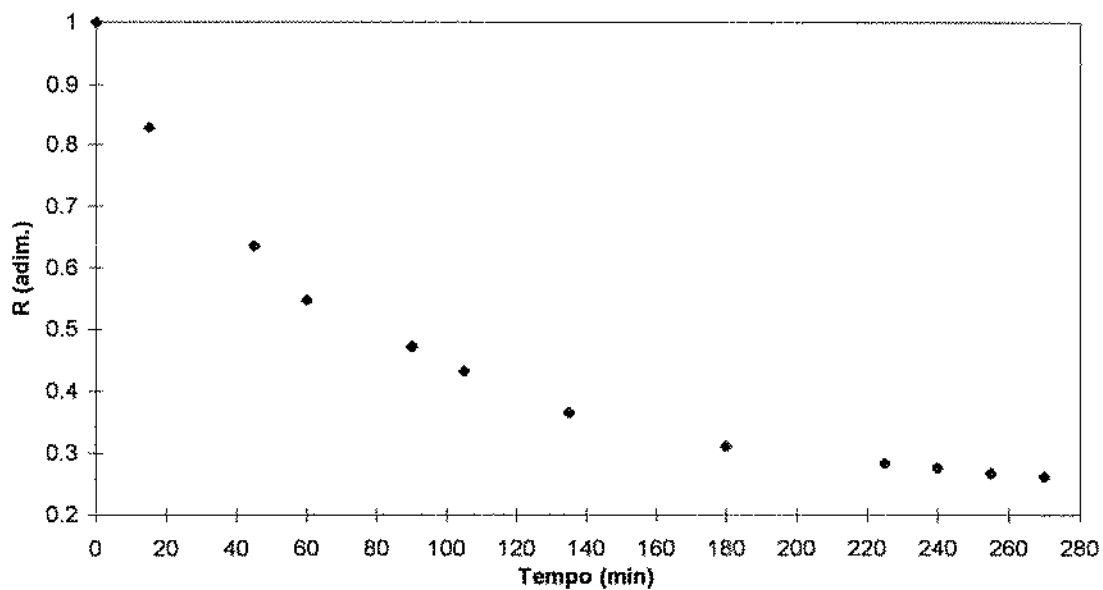


Figura A53 : Curva de secagem experimental para escoamento denso, a 50°C, velocidade do ar de 0,7 m/s e vazão de grãos de 160 g/s.

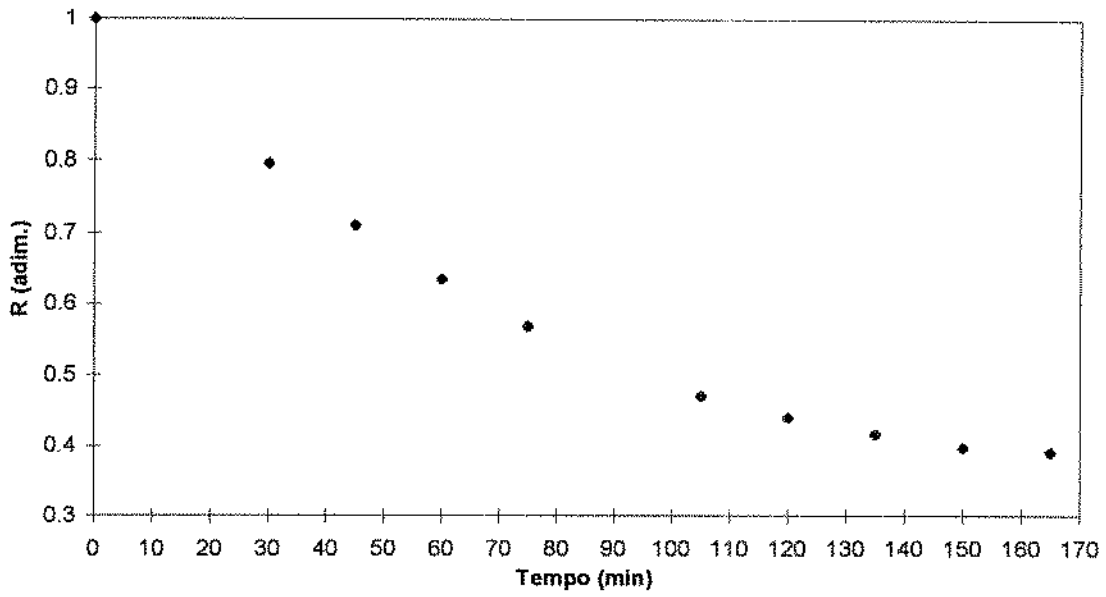


Figura A54 : Curva de secagem experimental para escoamento denso, a 50°C, velocidade do ar de 0,7 m/s e vazão de grãos de 210 g/s.

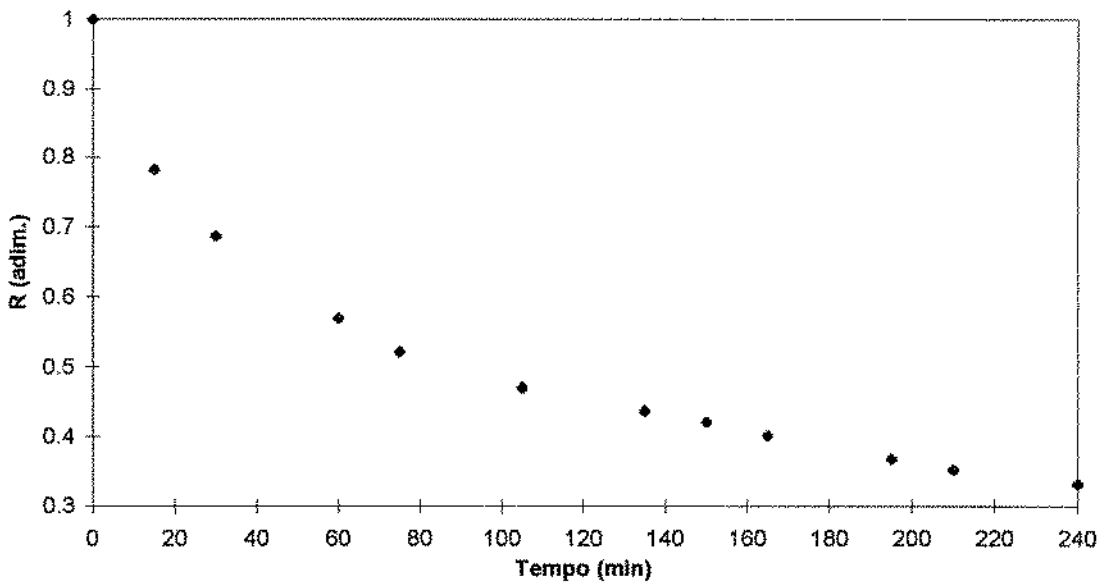


Figura A55 : Curva de secagem experimental para escoamento denso, a 50°C, velocidade do ar de 1 m/s e vazão de grãos de 160 g/s.

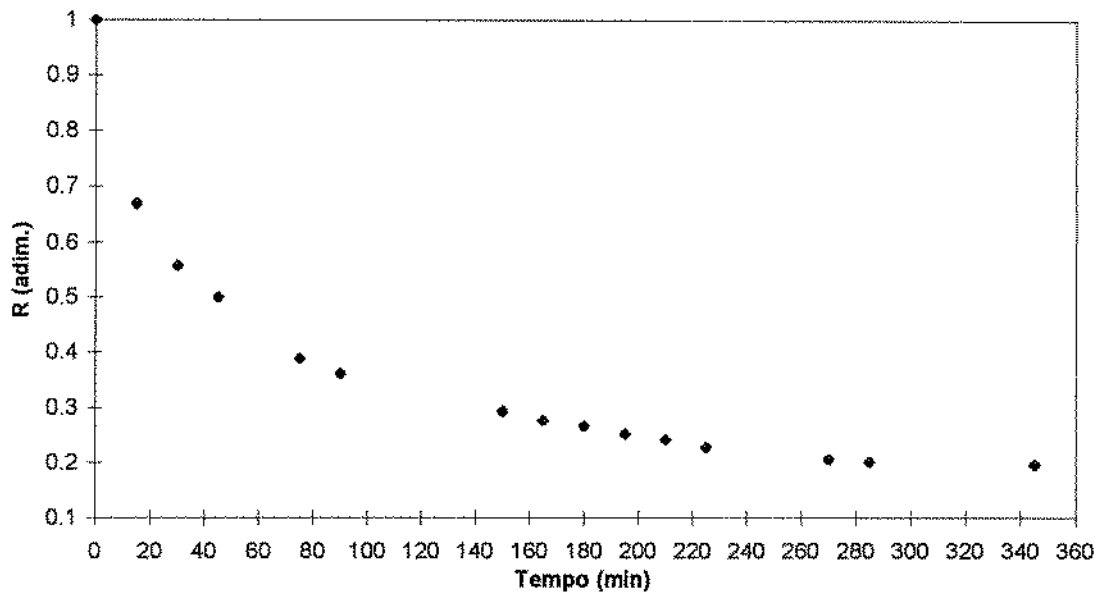


Figura A56 : Curva de secagem experimental para escoamento denso, a 50°C, velocidade do ar de 1 m/s e vazão de grãos de 210 g/s.

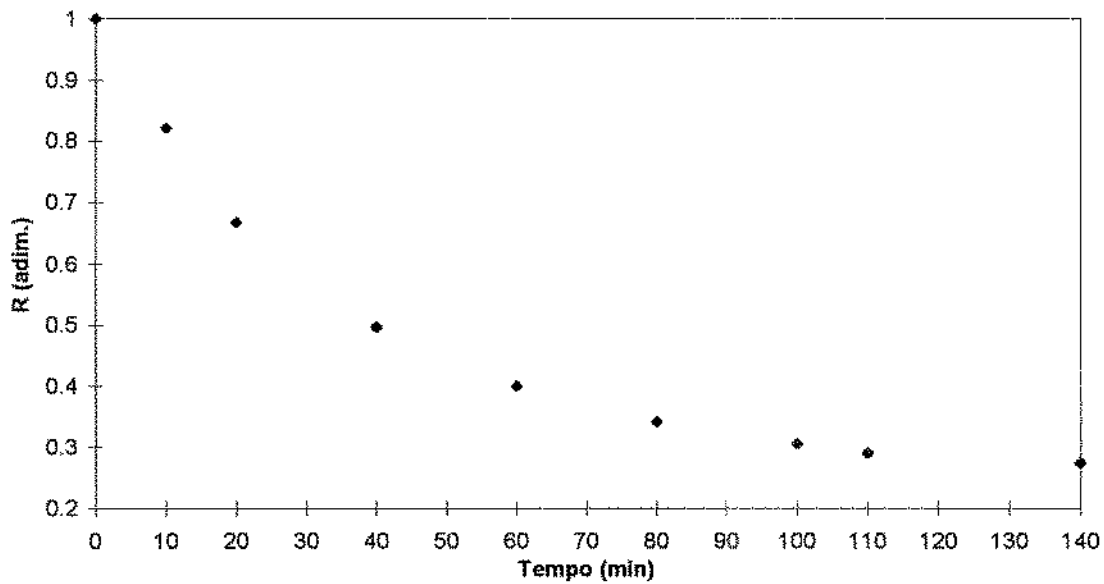


Figura A57 : Curva de secagem experimental para escoamento em queda livre, a 50°C, velocidade do ar 0,7 m/s e vazão de grãos 210 g/s.

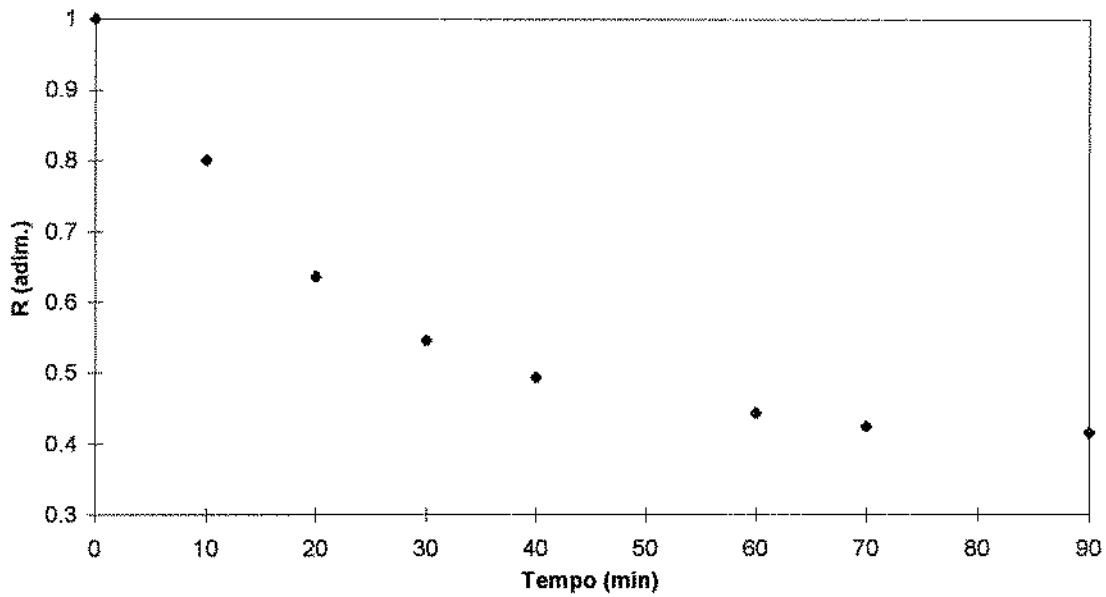


Figura A58 : Curva de secagem experimental para escoamento em queda livre, a 50°C, velocidade do ar 0,7 m/s e vazão de grãos 160 g/s.

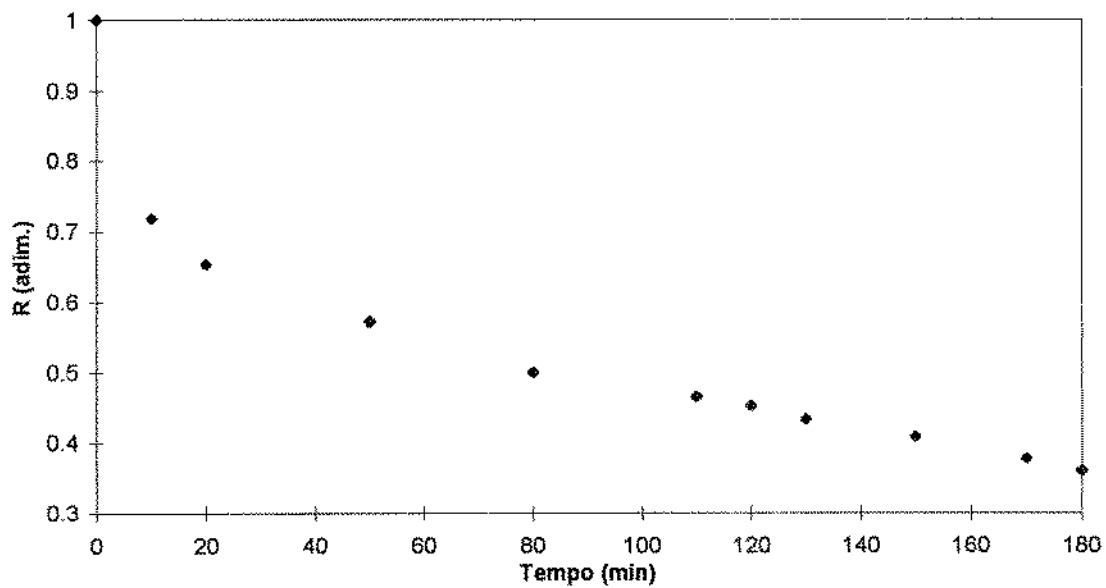


Figura A59 : Curva de secagem experimental para escoamento em queda livre, a 50°C, velocidade do ar 1 m/s e vazão de grãos 160 g/s.

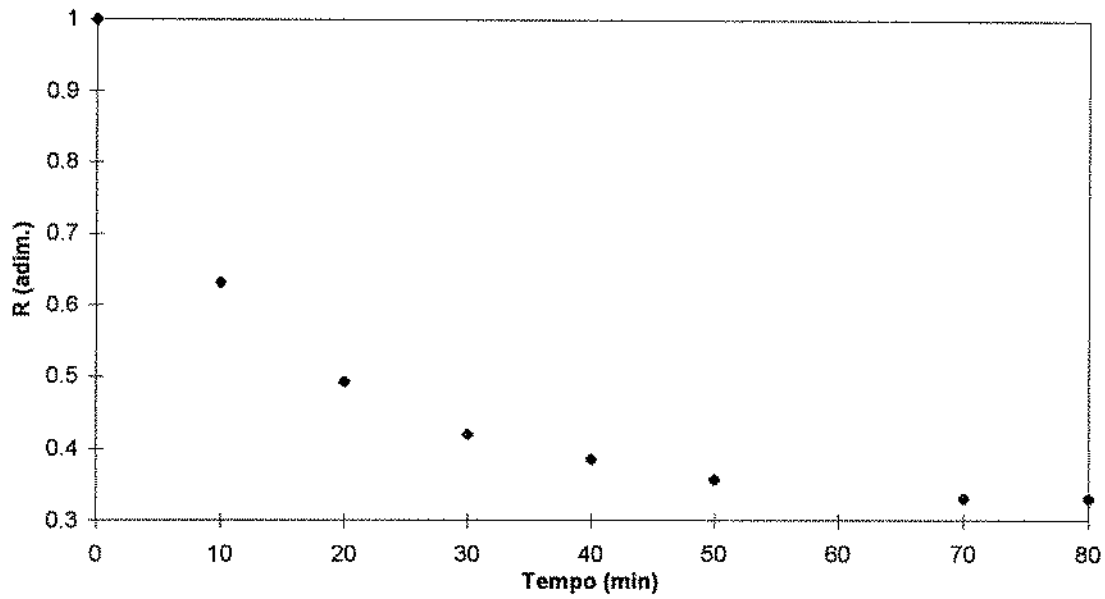


Figura A60 : Curva de secagem experimental para escoamento em queda livre, a 50°C, velocidade do ar 1 m/s e vazão de grãos 210 g/s.

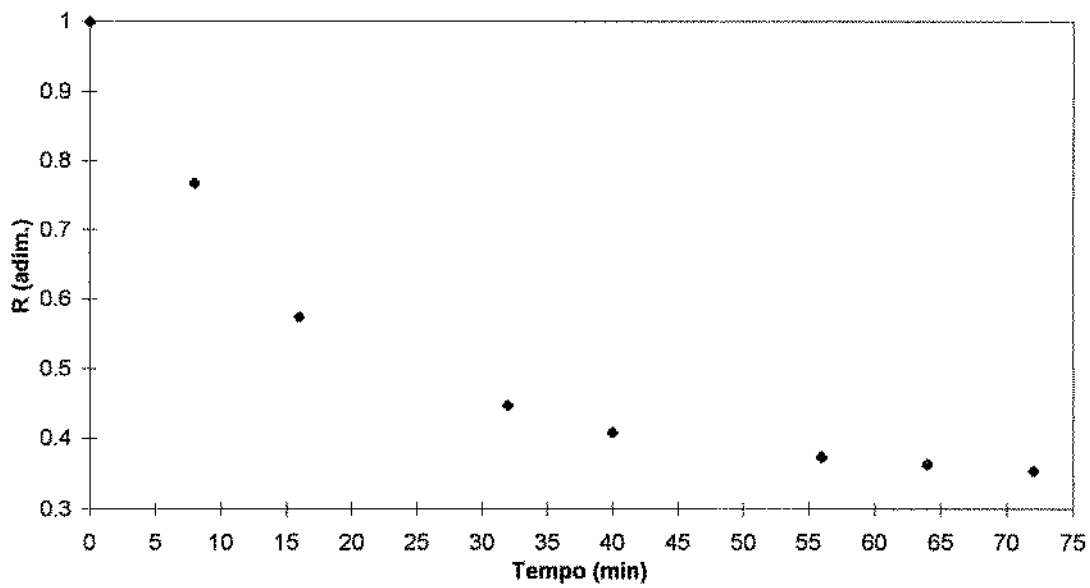


Figura A61 : Curva de secagem experimental para escoamento em queda livre, a 60°C, velocidade do ar de 0,7 m/s e vazão de grãos 210 g/s.

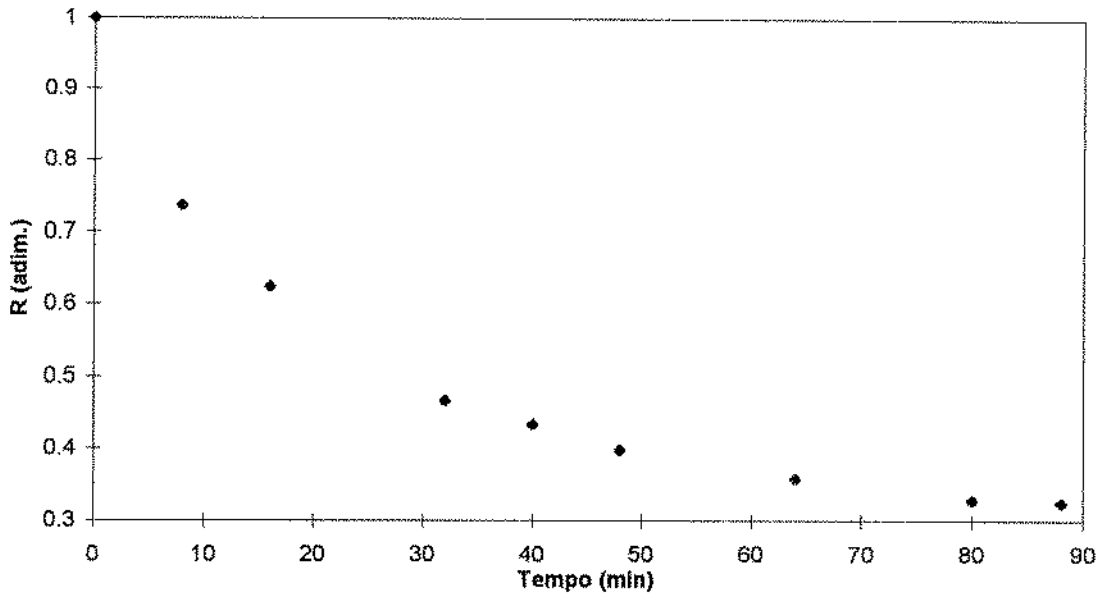


Figura A62 : Curva de secagem experimental para escoamento em queda livre, a 60°C, velocidade do ar de 0,7 m/s e vazão de grãos 160 g/s.

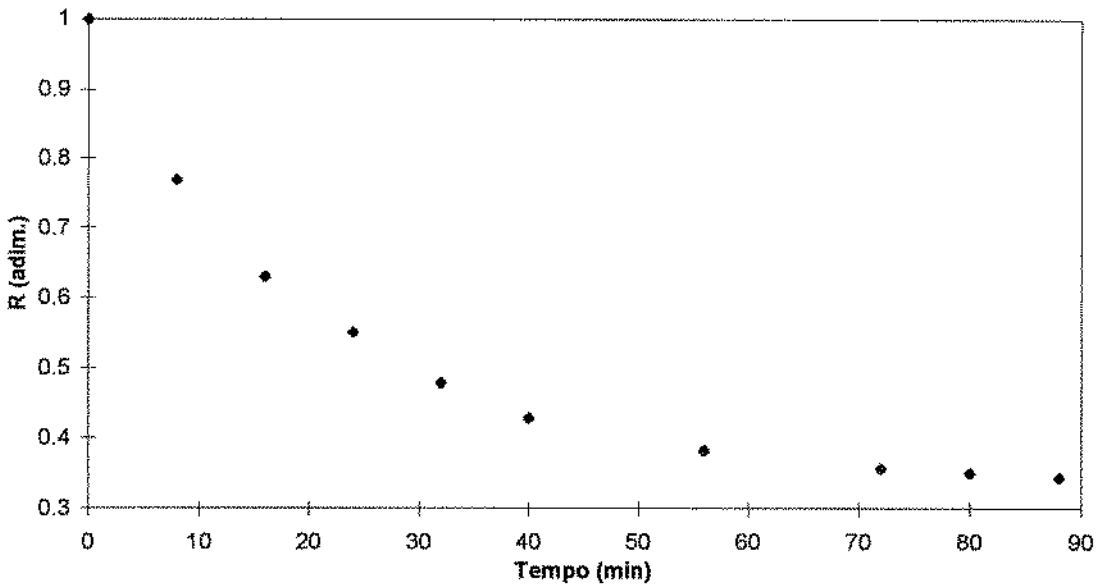


Figura A63 : Curva de secagem experimental para escoamento em queda livre, a 60°C, velocidade do ar de 1 m/s e vazão de grãos 160 g/s.

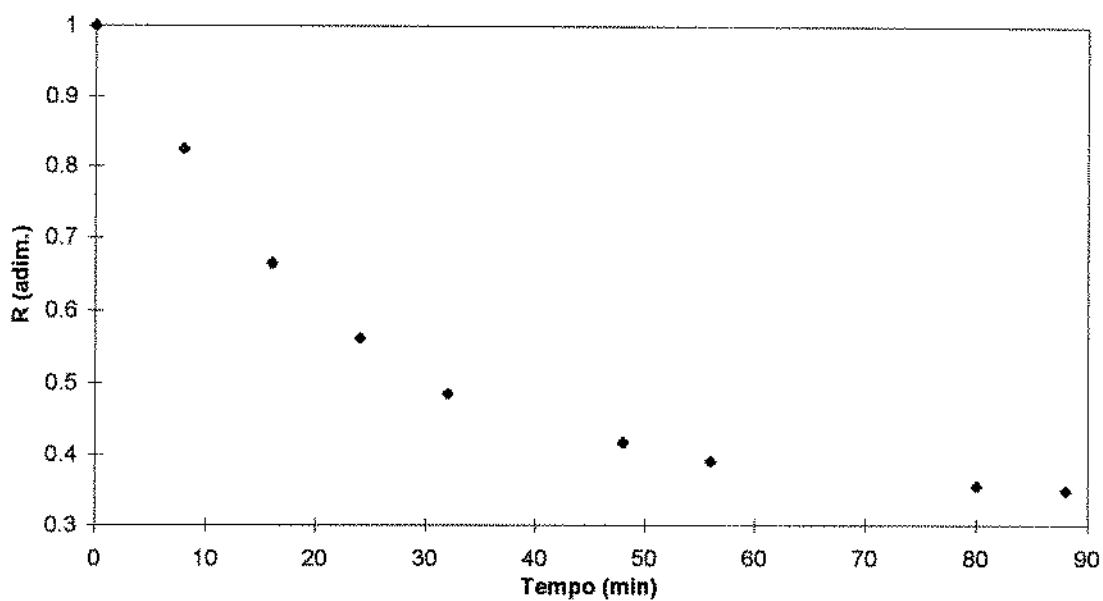


Figura A64 : Curva de secagem experimental para escoamento em queda livre, a 60°C, velocidade do ar de 1 m/s e vazão de grãos 210 g/s.

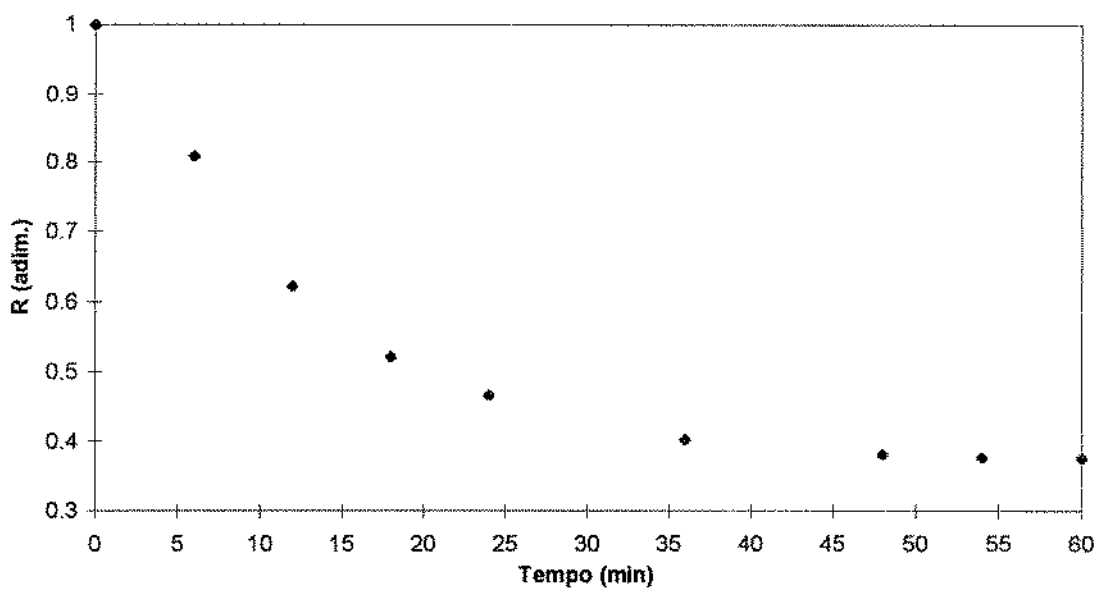


Figura A65 : Curva de secagem experimental para escoamento em queda livre, a 70°C, velocidade do ar de 1 m/s e vazão de grãos 210 g/s.

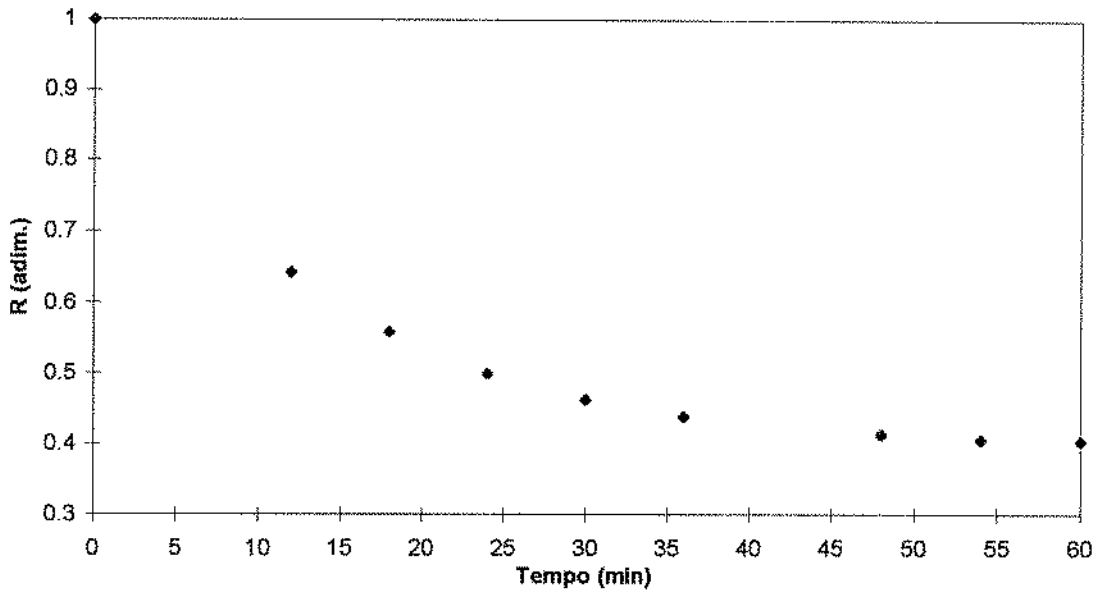


Figura A66 : Curva de secagem experimental para escoamento em queda livre, a 70°C, velocidade do ar de 1 m/s e vazão de grãos 160 g/s.

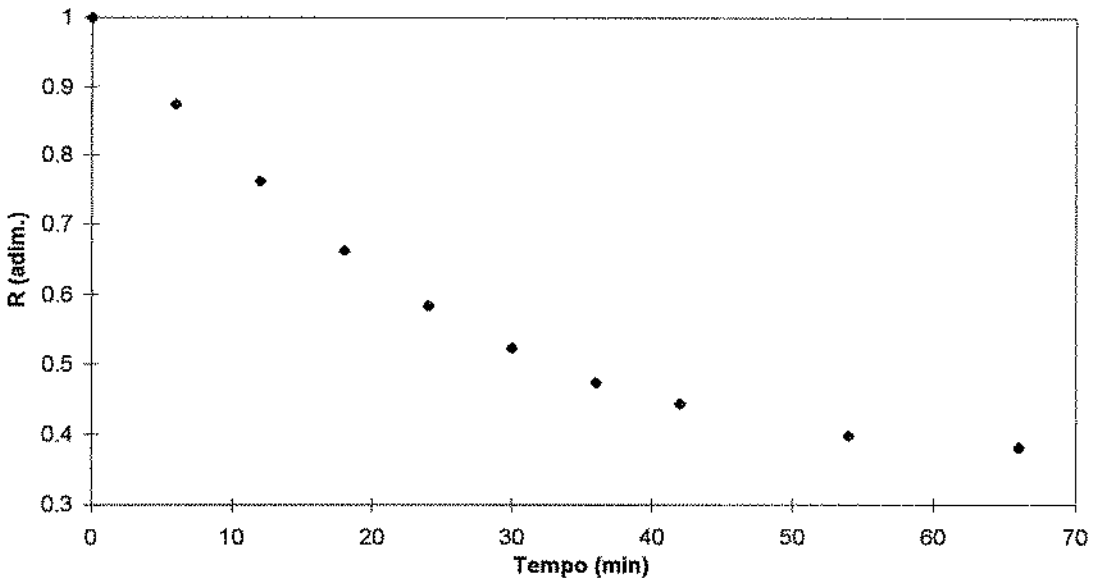


Figura A67 : Curva de secagem experimental para escoamento em queda livre, a 70°C, velocidade do ar de 0,7 m/s e vazão de grãos 160 g/s.



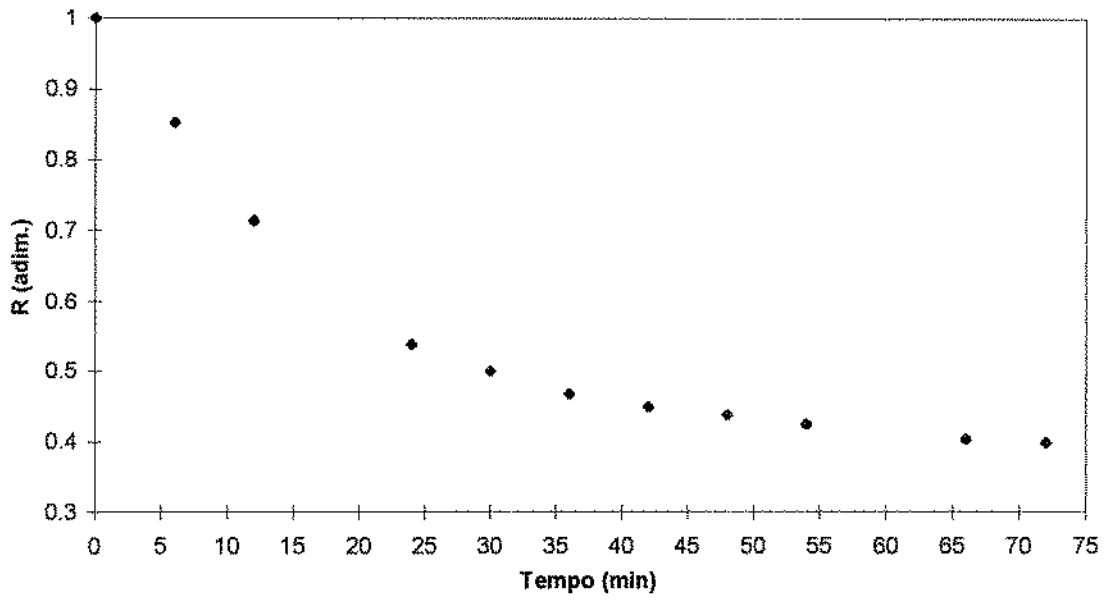


Figura A68 : Curva de secagem experimental para escoamento em queda livre, a 70°C, velocidade do ar de 0,7 m/s e vazão de grãos 210 g/s.

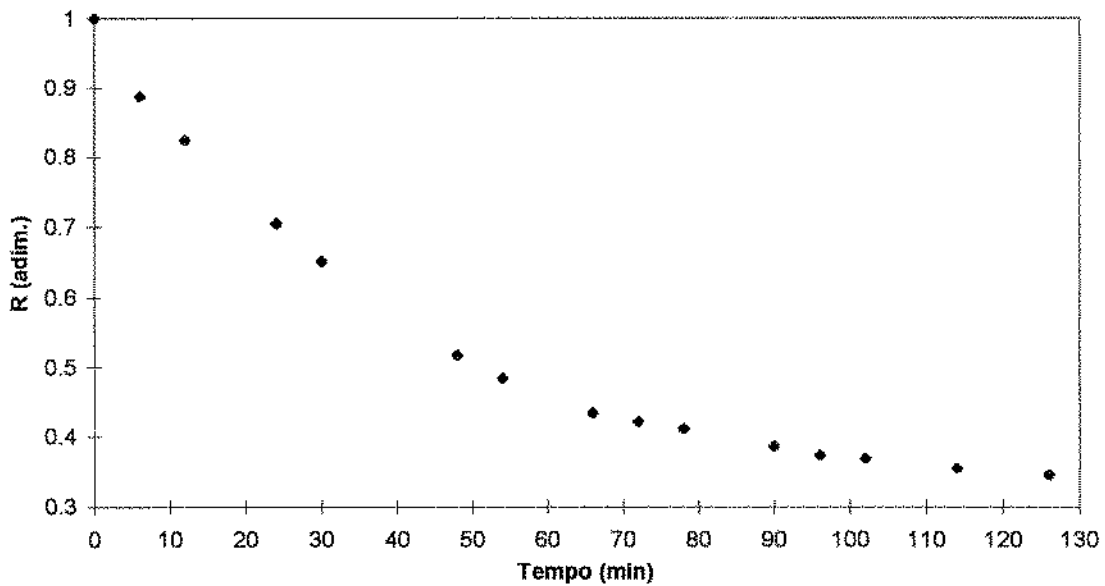


Figura A69 : Curva de secagem experimental para escoamento denso, a 70°C, velocidade do ar de 0,7 m/s e vazão de grãos de 160 g/s.

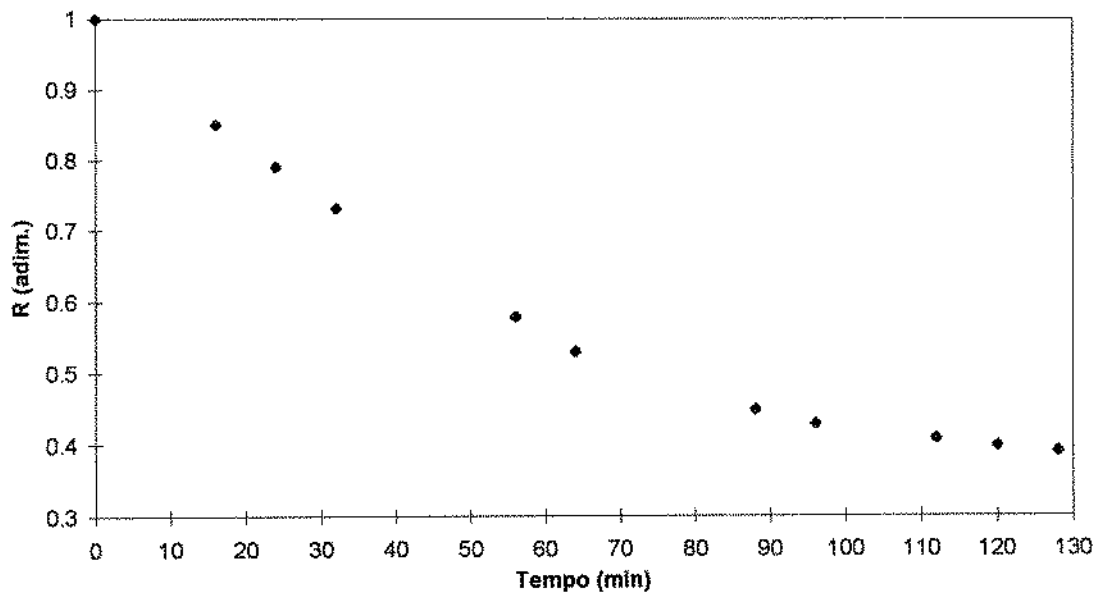


Figura A70 : Curva de secagem experimental para escoamento denso, a 70°C, velocidade do ar de 0,7 m/s e vazão de grãos de 210 g/s.

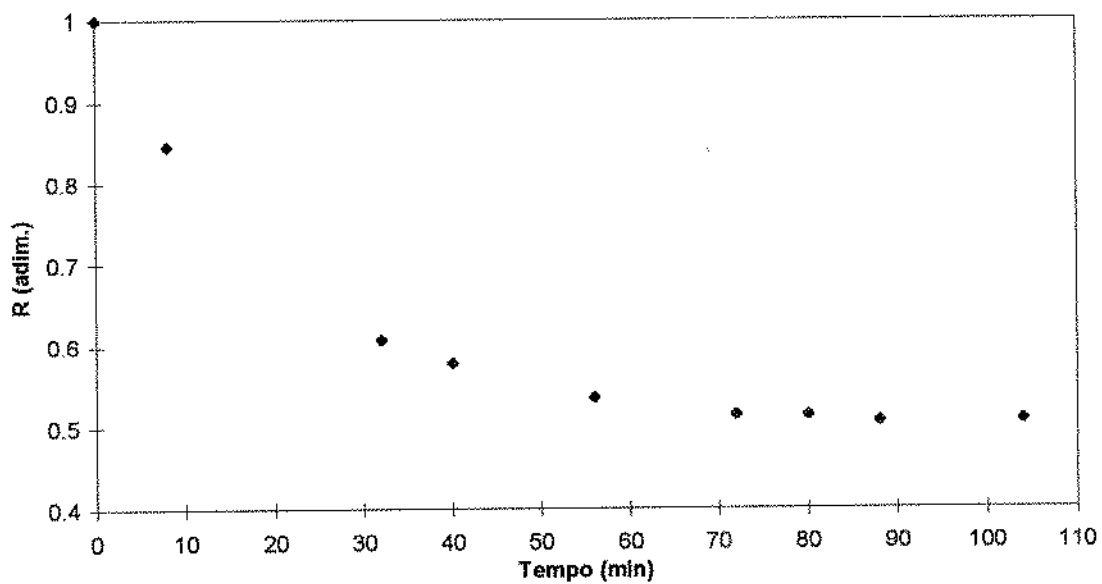


Figura A71 : Curva de secagem experimental para escoamento denso, a 70°C, velocidade do ar de 1 m/s e vazão de grãos de 160 g/s.

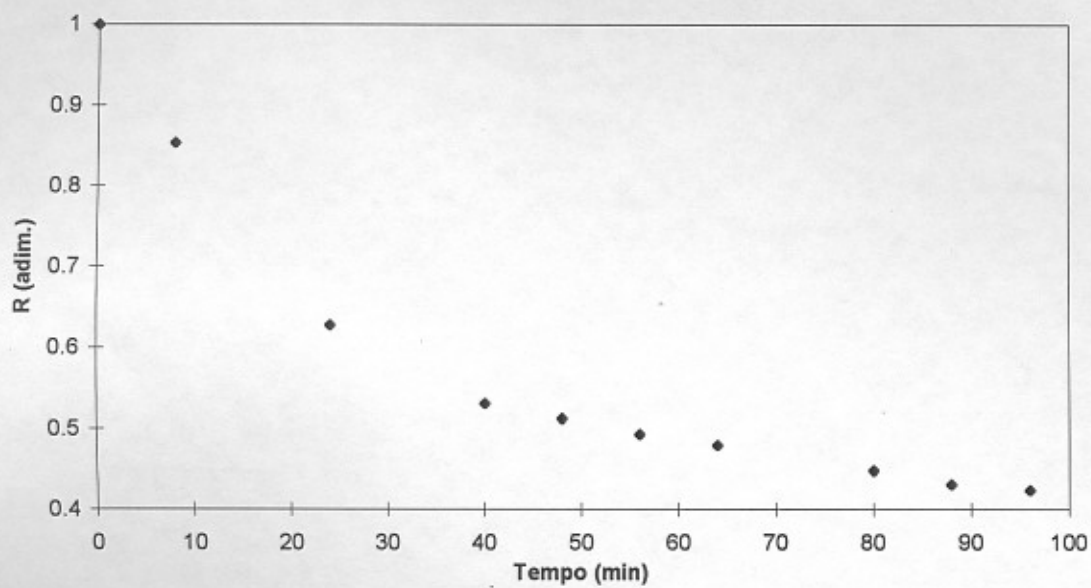


Figura A72 : Curva de secagem experimental para escoamento denso, a 70°C, velocidade do ar de 1 m/s e vazão de grãos de 210 g/s.