

ADRIANA CORRÊA GUIMARÃES

**SECAGEM DE CAFÉ (*Coffea arabica* L.) COMBINANDO SISTEMAS
EM ALTAS E BAIXAS TEMPERATURAS**

Tese Apresentada a Universidade
Federal de Viçosa, como Parte das
Exigências do Curso de Engenharia
Agrícola, para Obtenção do Título de
“*Magister Scientiae*”.

**VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
DEZEMBRO - 1995**

**A minha Família, e em especial:
a meu pai, Wantoil;
a minha mãe, Elzenir;
a minha irmã, Fabíola.**

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida e pela força.

A meus Pais por me ensinarem a viver com dignidade, pelo carinho, amor e pela confiança.

A Universidade Federal de Viçosa, a CAPES e FAPEMIG pela oportunidade de realizar este curso e pelo suporte financeiro.

A Companhia Energética de **Minas** Gerais, CEMIG, pelo suporte financeiro.

Ao professor Juarez de Sousa e Silva pela confiança, e orientação no decorrer desse trabalho.

Ao professor José Helvecio Martins, pelos conselhos e pela boa vontade.

A professora Leda Rita D'Antonino Faroni, pelo incentivo, pela atenção e pelas valiosas sugestões.

Ao Professor Daniel Marçal de Queiroz, em primeiro lugar pela amizade, pelo incentivo, pela confiança, e inestimável colaboração.

Ao professor José Antonio Marques Pereira, pelo incentivo, pelo carinho e dedicação, e pela participação ativa e direta nesse trabalho.

Ao Engenheiro Agrícola Eduardo Prates Pereira, pela amizade e colaboração na obtenção dos dados.

Ao funcionário do CENTREINAR, Francisco Carlos Alves Neto, pela construção dos ventiladores.

Aos funcionários do DEA, Lamantino Pinto de Miranda, Silas Lopes Rosado e Edson Braz de Miranda, pela atenção, pela manutenção do protótipo utilizado pela ajuda na realização dos testes.

Aos companheiros de curso, em especial a Hamilton e Sérgio Nascimento, pelo incentivo e apoio nos momentos de dificuldades.

A Suzana Lopes de Araújo e Cintia Alessandra Ribeiro Matiucci, pela eterna amizade e energia.

A Henrique Simonini Ribeiro, pelo trabalho de formatação desta tese.

As pessoas não-citadas, que de uma maneira importante, colaboraram neste trabalho, são peças fundamentais e inesquecíveis.

BIOGRAFIA

ADRIANA CORRÊA GUIMARÃES, filha de Wantoil Coutinho Guimarães e Elzenir Corrêa Guimarães, nasceu no Rio de Janeiro, Estado do Rio de Janeiro, em 24 de junho de 1966.

Em 1990, graduou-se em Engenharia Agrícola, pela Universidade Federal de Viçosa

Em março de 1991, iniciou o Curso de Mestrado em Engenharia Agrícola, com concentração na área de Processamento de Produtos Vegetais, na Universidade Federal de Viçosa, finalizando-o em junho de 1995.

De setembro de 1992 a agosto de 1993, realizou um curso de Alta Especialização em Tecnologia de Alimentos, no Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos, em Valência, Espanha.

CONTE—O

	Página
EXTRATO	viii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	4
2.1. Pré-processamento do Café.....	4
2.1.1. Pré-processamento por Via Seca	5
2.1.2. Pré-processamento por Via Umida	6
2.2. Tecnologia de Secagem.....	7
2.3. Efeito das Condições de Secagem e de Armazenamento na Qualidade do Café	11
2.4. Classificação do Café.....	13
2.5. Simulação de Secagem com <i>Ar</i> a Temperatura Ambiente.....	14

3. MATERIAL E METODOS	19
3.1. Silo-Secador.....	20
3.2. Testes Experimentais.....	22
3.2.1. <i>Vazão</i> Específica e Pressão Estática.....	22
3.2.2. Teor de Umidade.....	24
3.2.3. Massa Específica do Café.....	24
3.2.4. Temperatura da Massa Durante a <i>Secagem</i>	25
3.2.5. Qualidade Final.....	25
3.3. Simulação de Sec.....	25
4. RESULTADO E DISCUSSÃO	29
4.1. Manejo do Sistema.....	31
4.2. Pressão Estática	33
4.3. Temperatura.....	36
4.4. Curvas de Secagem Experimentais.....	40
4.5. Simulação de Secagem.....	44
5. RESUMO E CONCLUSÕES	49
BIBLIOGRAFIA	52
APÊNDICE A	58
APÊNDICE B	61

EXTRATO

GUIMARÃES, Adriana Corrêa, M.S., Universidade Federal de Viçosa, dezembro de 1995. **Secagem de Café (*Coffea arabica* L.) Combinando Sistemas em Altas e Baixas Temperaturas.** Professor Orientador: Juarez de Sousa e Silva. Professores Conselheiros: José Helvécio Martins e Leda Rita D'Antonino Faroni.

Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de estudar a possibilidade de utilização do sistema de secagem em combinação para café, e adaptar um modelo de simulação de secagem utilizando ar ambiente.

Foram realizados seis testes de secagem de café utilizando-se ar com temperatura ambiente em um silo de 6,3 m³ de capacidade. O teor de umidade inicial do produto estava na faixa de 19 a 26% b.u., e o fluxo de ar em torno de 8 m³.min⁻¹.m⁻².

Implementaram-se dois modelos computacionais de simulação de secagem, baseados nos modelos de Thompson e outros, em 1968 e no modelo de equilíbrio de Thompson, em 1972.

Foi verificado que o modelo de Thompson e outros, em 1968, adaptado para secagem de café, representa melhor o comportamento do processo de

secagem utilizando ar a temperatura ambiente que o modelo de equilíbrio proposto pelo mesmo autor em **1972**.

A secagem de café cereja com ar ambiente deve ser iniciada quando o teor de umidade do produto for em torno de 20% b.u. Foi constatado a importância do manejo adequado do ventilador, e a necessidade da instalação de um sistema de termometria para acompanhamento da temperatura da massa de café no silo-secador.

1. INTRODUÇÃO

A economia cafeeira assumiu importância fundamental no desenvolvimento econômico no Brasil, sendo a atividade agrícola pioneira na formação da economia **das** regiões que hoje se tomaram as mais dinâmicas do país (SZMRECSANYI, 1990).

Durante o início do século XIX, o café chegou a representar 10% do Produto Nacional Bruto (PNB). Nos anos subsequentes manteve importância absoluta, porém em termos relativos veio perdendo expressão com o desenvolvimento de outras atividades. Nos anos 30 já representava menos de 6% do PNB e na década de 70 não superava 1% (WILLUNSEN e DUTT, 1991).

O Brasil sempre ocupou no mundo a posição de maior produtor e exportador de café. No entanto, no decorrer deste século, houve grande queda da sua participação no comércio internacional. Responsável, no início do século, **por** cerca de 77% **das** exportações mundiais, atualmente participa com apenas 25% do total dessas exportações.

A principal razão para a queda da competitividade internacional do Brasil no setor cafeeiro, segundo CAIXETA et alli (1989), foi a política de sustentação de preços elevados do café brasileiro no mercado externo, o que incentivou os concorrentes. Outra razão importante, segundo SILVA (1971), foi a falta de uma política de incentivo a melhoria da qualidade. O Instituto Brasileiro do Café (IBC) incentivava apenas o aumento da quantidade produzida e exportada, num mercado onde o produto diferenciava-se para atender gostos e preferências dos consumidores cada vez mais exigentes nos diversos países importadores. **Assim**, o desenvolvimento de tecnologias que comprovadamente atuem no sentido de proporcionar um produto de melhor qualidade, desde a produção até o armazenamento, é indispensável para reverter a situação atual.

Atualmente, o consumo de energia e o rendimento de um secador são parâmetros a que se tem dado grande ênfase na escolha de um sistema de secagem, o que pode causar alta taxa de quebras e mudanças de cor, resultando num produto de baixa qualidade (CORDEIRO, 1982).

Várias alternativas de secagem têm sido propostas visando a obtenção de um produto final de melhor qualidade. Foster, citado por BROOKER et alli (1974), desenvolveu um processo de seca-aeração para **milho**, o qual é uma combinação de secagem, repouso e aeração. Segundo CLOUD e MOREY (1980), o processo de seca-aeração apresenta as seguintes vantagens em relação a secagem em altas temperaturas com resfriamento no próprio secador:

- a) redução do consumo de energia;
- b) produto final de melhor qualidade;
- c) aumento da capacidade de secagem.

Um outro processo de secagem que vem sendo utilizado para grãos, é o da secagem combinada. Nesse processo utiliza-se o secador com ar em altas temperaturas para reduzir o teor de umidade até cerca de **16 a 18%** b.u., e o restante da umidade, até o teor de umidade seguro para armazenagem, é removido utilizando silo-secador com ar em temperaturas próximas a ambiente. Assim, utiliza-se o secador em altas temperaturas para secagem do produto na faixa de umidade na qual ele é mais eficiente. Com isso, reduz-se substancialmente o consumo de energia e aumenta-se a segurança do processo de secagem com baixa temperatura por meio da redução do teor de umidade inicial.

A utilização de modelos matemáticos de simulação de secagem tem auxiliado muito no projeto, desenvolvimento, avaliação e otimização de secadores. O modelo desenvolvido por **THOMPSON** et alii (1968) tem sido usado com sucesso na simulação de secagem de café, apesar das simplificações admitidas no seu desenvolvimento (BERBERT, 1991; GUIMARÃES et alii, 1991; OLIVEROS TASCON, 1984; OSÓRIO, 1982; PINTO, 1993; SILVA, 1991).

Tendo em vista a preservação da qualidade e a diminuição da utilização de energia durante o processo de secagem do café, o presente trabalho teve como objetivos adaptar o sistema de secagem em combinação para café, adaptar o modelo de Thompson para Simulação de secagem de café com baixas temperaturas, e determinar o teor de umidade ideal para iniciar a secagem com baixas temperaturas, levando em consideração a qualidade do produto final.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Além de sua importância para um grande número de países em desenvolvimento, o café caracteriza-se por problemas específicos, como perdas de qualidade no período pós-colheita e, em se tratando de produto típico de regiões tropicais, o café tem despertado pouco interesse de pesquisadores de países desenvolvidos, os quais vêm trabalhando na área de processamento de produtos vegetais há mais tempo. Em consequência, existe uma carência de trabalhos científicos relacionando o sistema de preparo com a qualidade final do produto. E hoje a qualidade do produto é uma exigência do mercado.

2.1. Pré-processamento do Café

O café colhido constitui-se de uma mistura de frutos verdes e maduros, denominados comumente por “cereja”, de frutos secos, de folhas, ramos, terra e

pedras, e deve ser convenientemente limpo, separado nas **suas** diversas fiações e secado. **Ao** conjunto dessas operações se dá o nome de preparo do café.

O pré-processamento do café pode ser feito por vias seca e úmida, isto é, secando diretamente o produto, dando origem ao café em coco ou de terreiro, e despolpando-o, dando origem aos cafés despolpados.

2.1.1. Pré-processamento por Via Seca

Com o pré-processamento por via seca, obtém-se o café de terreiro que constitui a maior parte do café brasileiro. O café colhido deverá ser submetido a processos de separação das impurezas, o qual é feito usando dispositivos que separam o café das impurezas, com ajuda de pressão de ar e peneiras com furos variáveis.

A separação dos frutos e impurezas pode ser feita também por densidade, utilizando-se lavadores próprios denominados ‘Maravilha’ que consistem em um tanque de alvenaria, no qual há, no fundo uma turbulência de água. Dependendo dos estádios de desenvolvimento, ou dos diferentes teores de umidade (verde 60 a 70%, cereja **45** a **55%** e coco 20 a 30% b.u.), o café apresenta diferentes densidades. Assim, a fiação constituída pelos frutos verdes e cereja afunda na água, saindo por uma bica do lavador, recebendo a denominação de “cereja”. A outra fiação, constituída por frutos passa, seco, e danificado, que são menos densos e não afundam, recebem a denominação de “bóia”, e sai por outra bica. Por apresentarem tempo de secagem diferente, estas duas fiações de café deverão

ser secadas separadamente, para obtenção de um produto final mais uniforme e de melhor qualidade. As pedras e torrões são também eliminadas (BÁRTHOLO et alii, 1989).

Nesse tipo de lavador gastam-se, aproximadamente, 3 litros de água para um litro de café. Havendo problema de escassez de água, poder-se-á utilizar lavadores mecânicos que consomem em média um litro de água para cada 30 a 40 litros de café, havendo uma economia muito grande de água, uma vez que boa parte do movimento do café é feita mecanicamente.

Depois da lavagem e separação de impurezas, o café vai para o terreiro ou então para os secadores mecânicos, ou ainda combina-se secagem em terreiro com secadores mecânicos.

2.1.2. Pré-processamento por Via Úmida

O pré-processamento por via úmida dá origem aos cafés lavados ou despulpados. Na América Central, México, Colômbia e no Quênia, onde são produzidos, tem alcançado boas cotações no mercado, por ser de bebida suave.

No Brasil a produção de cafés despulpados é pequena, apesar de existirem boas possibilidades em várias regiões cafeeiras. O despulpamento nada mais é do que a retirada da casca do fruto maduro ou cereja e posterior fermentação e lavagem dos grãos despulpados. O café despulpado tem a vantagem de diminuir consideravelmente a área necessária para secagem (redução do volume em 60%)

e reduzir o tempo de secagem, não só por ser um café uniforme, mas, também pelo teor de umidade mais baixo, em tomo de 50% b.u.

Também pode-se obter o café descascado que diferencia-se do acima citado por não sofrer a fermentação, permanecendo assim com a mucilagem.

2.2. Tecnologia de Secagem

A secagem de café é comparativamente mais difícil de ser executada do que a de outros produtos, em virtude do teor de umidade, e ser bastante elevado, geralmente na faixa de 50 a 70% e, conseqüentemente, a velocidade de deterioração em sua primeira fase é maior.

Segundo **QUILAQUEO** (1979), qualquer que seja o método de secagem, deve ser ressaltado os seguintes aspectos para se obter êxito no preparo do café:

- a) evitar fermentação durante a secagem;
- b) evitar temperatura excessivamente elevada (o café tolera ao redor de 40°C por um ou dois dias; 50°C por poucas horas e 60°C por menos de uma hora sem se danificar);
- c) secar os grãos no menor tempo possível até 18% b.u. de umidade, e;
- d) procurar obter um produto que apresente coloração uniforme.

No Brasil, segundo os aspectos tecnológicos envolvidos, utilizam-se basicamente dois métodos para secagem de café (OSÓRIO et alii, 1983):

- secagem em terreiros: esparrama-se o produto em pisos, que podem ser de cimento, de tijolo, de chão batido ou de asfalto. A baixa taxa de secagem e a

exposição do produto a agentes biológicos, juntamente com a possibilidade de ocorrência de condições climáticas desfavoráveis, podem proporcionar a perda de qualidade do produto. Este método é o mais utilizado pelos produtores;

- secagem em secadores mecânicos: força-se o ar aquecido por meio da massa de grãos. Os equipamentos disponíveis no Brasil, de modo geral, apresentam baixa eficiência de secagem, em razão do fato de não terem sido projetados especificamente para o café, e custo elevado, tornando-os acessíveis apenas para grandes cafeicultores.

A dificuldade de escoamento que o café apresenta no início da secagem inviabiliza a utilização de secadores dotados de dispositivos normais de transporte de grãos. O processo mais utilizado atualmente consiste na realização de uma pré-secagem em terreiro, para posterior utilização de secadores mecânicos (SILVA, 1991).

LACERDA FILHO (1986) comparou os seguintes sistemas de secagem de café: secagem em terreiro, secagem em secador de leito fixo, combinação entre terreiro e leito fixo, combinação entre a secagem em terreiro e secagem em secador em fluxos concorrentes, combinação entre leito fixo e secador em fluxos concorrentes. Concluiu que, do ponto de vista técnico e operacional, o melhor desempenho foi obtido quando se fez a meia seca em secador de leito fixo e o complemento da secagem em secador de fluxos concorrentes.

Segundo CORDEIRO (1982) a temperatura máxima que o café pode suportar é 70°C. Temperaturas mais elevadas são prejudiciais ao produto, uma

vez que muitos grãos ficam super secos, enquanto outra parte não atinge o teor de umidade ideal, tornando a uniformização da “torra” muito difícil.

RIGITANO et alii (1964) estudaram a secagem de café em cereja despolpado e não-despolpado, intercalada com períodos de repouso. O produto foi seco utilizando um secador experimental com aquecimento elétrico com temperaturas de secagem de 45, 60 e 70°C. O produto foi submetido a períodos de secagem de uma, duas, três e quatro horas e colocado em **tulhas** de descanso até que o produto atingisse 30°C. Verificaram que a utilização de períodos de repouso provoca um aumento do rendimento do secador pela redução do tempo de operação. O processo foi mais vantajoso para o café não despolpado, secagem a temperatura mais baixa e quando se utilizou um maior número de períodos de repouso.

A secagem artificial, que utiliza secadores mecânicos, pode ser executada em temperaturas baixas, altas ou de forma combinada. A secagem em baixas temperaturas utiliza o **ar** em condições ambientes ou levemente aquecido. Geralmente este tipo de secagem é realizado em silos que possuem o fundo perfurado, por onde o ar é insuflado por meio de um ventilador. A secagem de forma combinada é um processo que vem evoluindo constantemente e consiste em realizar a secagem em altas temperaturas até que o teor de umidade seja reduzido para a faixa de 16 a 18% b.u. A partir deste ponto, a secagem passa a ser executada em um sistema que opere em baixas temperaturas. Com adoção desta técnica o consumo de energia é reduzido, a capacidade do sistema é

aumentada e o produto final apresenta melhor qualidade do que em sistemas que operam em altas temperaturas (DALPASQUALE, 1984; SILVA, 1980).

A espessura da camada de grãos nos silos secadores pode ser de até 5 m. O aumento da espessura faz com que a resistência ao fluxo de ar seja aumentada e, em consequência, reduz a capacidade de secagem (BAKKER-ARKEMA et alii, 1980). Outro cuidado com relação a definição da espessura da camada está correlacionado a possibilidade de ocorrência de condensação pois, o ar que sai da zona de secagem, saturado ou próximo da saturação, ao passar pela massa de grãos pode trocar calor com o produto, reduzindo sua temperatura. Dependendo da situação, pode ocasionar a condensação de vapor d'água contido no ar.

Na fase de secagem em baixas temperaturas em silos ou **tulhas** é necessário completar o processo antes que a camada superior de grãos possa deteriorar pela ação de microrganismos. O fluxo de ar necessário para que isso não ocorra é função do teor de umidade do produto e das condições do ar de secagem. O ar insuflado pode ser aquecido, no entanto aumenta-se o risco de secagem excessiva das camadas inferiores e acelera a atividade microbiana nas camadas superiores. Isso pode ser contornado aumentando-se o fluxo de ar em vez de aquecê-lo e, se possível, reduzindo a espessura da camada de grãos.

A desuniformidade do teor de umidade do produto faz com que os grãos de café sejam submetidos a diferentes graus de torração o que é indesejável para obtenção de um produto com boa qualidade de bebida. Os grãos com maior teor de umidade torram mais lentamente que os mais secos, produzindo uma torração

excessiva dos mais secos antes do pleno desenvolvimento de sabor dos mais úmidos (CARVALHO e CHALFOUN, 1985)

2.3. Efeito das Condições de Secagem e de Armazenamento na Qualidade do Café

Fairbanks, citado por BEGAZO (1964), considera que um café é de boa qualidade quando possui boas características organolépticas, apresenta teor de umidade uniforme dentro de uma faixa que possibilite o armazenamento seguro, cor uniforme, favas de tamanho uniforme e sem impurezas.

Para obtenção de um café de boa qualidade é necessário um cuidado especial no controle da temperatura da massa, principalmente a partir do momento em que o café passa a apresentar teor de umidade inferior a 30%, uma vez que há uma tendência da temperatura da massa de grãos se igualar a temperatura do ar de secagem. Essa tendência é causada pela dificuldade de migração da umidade das camadas mais internas para a periferia dos grãos.

Quando existe uma grande porcentagem de frutos verdes, temperaturas acima de 30 a 40°C acarretam a transformação dos grãos verdes em pretos verdes ou verdes geados, prejudicando o aspecto e o tipo do café. Quando o produto contiver muitos frutos verdes, a secagem inicial em terreiros deve ser feita em camadas mais espessas (INSTITUTO BRASILEIRO DO CAFÉ, 1977).

Segundo QUILAQUEO (1979), a deterioração do café é mais acentuada no início da secagem pelo fato do produto conter elevado teor de umidade; isto leva a pensar em um sistema de secagem em dois estádios para a solução do problema.

Um sério problema ligado a secagem de café cereja em terreiros é a sua contaminação por fungos. Como a secagem se processa mais lentamente em virtude das camadas do pericarpo do fruto, ele fica úmido por mais tempo, aumentando o período durante o qual os microrganismos podem se desenvolver. Um outro fator que agrava essa situação, é que as camadas do pericarpo dos frutos constituem um meio muito mais favorável ao desenvolvimento dos microrganismos do que o pergaminho dos grãos despolpados, devido ao alto conteúdo de açúcares, tomando a proteção do café contra tal risco mais difícil (BEGAZO, 1964).

O café despolpado apresenta inicialmente um teor de umidade em torno de 55% b.u., bastante uniforme, o que facilita a sua secagem. Pereira, citado por BEGAZO (1964), concluiu que o despolpamento e a degomagem rápida são uma verdadeira garantia para a obtenção de café de fino paladar, mesmo em regiões tradicionalmente de bebida “rio”.

Segundo Hara e Northmore, citados por OLIVEROS TASCON (1984), existe alguma reação fotoquímica que dá ao café seco no terreiro ou exposto a luz solar melhor qualidade de bebida e melhor comportamento durante a armazenagem.

iluminado é superior a qualidade do café armazenado no escuro, o qual apresenta tendência ao branqueamento. Mônaco, citado por VILELA (1977), também estudou o efeito da luz solar na qualidade da bebida do café. A secagem conduzida somente em secadores prejudica o produto, e sugere combinar a secagem natural com artificial. O café deve ser colocado em terreiros até que o seu teor de umidade esteja na faixa de 35 a 40%, base úmida. A secagem deverá ser continuada em secador até que a umidade seja reduzida para 20% e a partir daí completada em silos ventilados ou ensacados e deixado em **tulhas** com ventilação forçada, até que a umidade atinja de 11 a 12% b.u., conforme as condições ambientais.

Gibson, citado por VILELA (1977), concluiu que para os grãos de café Arábica atingirem o máximo de qualidade é indispensável expô-los ao sol durante a secagem, tendo-se verificado que apenas uma estreita faixa do espectro visível é benéfica e que outras são prejudiciais a qualidade. Inferiu-se que os pigmentos verdes presentes no tegumento entre a casca e a superfície dos grãos **filtram** a luz solar incidente, reduzindo a faixa desejada de radiação visível.

24. Classificação do Café

A **Comissão** Nacional de Normas e Padrões para Alimentos aprovou no mês de março de 1978 a Resolução nº 12.178, que fixa padrões de qualidade e identidade para alimentos e bebidas incluindo o café, classificando-o quanto ao tipo, bebida, peneira e cor. A classificação da qualidade da bebida é feita de

acordo com o sabor detectado na prova da mistura resultante da infusão do produto torrado e **moído**, classificando segundo **os** critérios apresentados no Quadro 1

QUADRO 1 - Classificação do café (*coffea arabica*) quanto a bebida

Classificação	Característica
Estritamente mole	Bebida de sabor suavíssimo e adocicado
Mole	Bebida de sabor suave, acentuado e adocicado
Apenas mole	Bebida de sabor suave, porém com leve adstringência
Dura	Bebida com sabor adstringente, gosto áspero
Riada	Bebida com leve sabor de iodofórmio ou ácido fênico
Rio	Bebida com sabor forte e desagradável, lembrando iodofórmio ou ácido fênico
Rio zona	Bebida de sabor e odor intoleráveis ao paladar e ao olfato

2.5. Simulação de Secagem com Ar a Temperatura Ambiente

SHARP (1982) apresentou uma revisão detalhada da simulação de secagem de **grãos** a baixa temperatura. De todos **os** modelos revisados, o modelo de equilíbrio desenvolvido por *BLOOME* e *SHOVE* (1971) e **THOMPSON** (1972), e modificado por *MOREY* et alii (1979) para condições de baixas temperaturas e baixo fluxo de ar, é o que tem sido mais utilizado, principalmente

em virtude do baixo tempo computacional exigido, em comparação com o modelo de equações diferenciais parciais desenvolvido por BROOKER et alii (1974).

Simulação da variação da temperatura e do teor de umidade durante a aeração de grãos com alto teor de umidade requer uma abordagem diferente daquela utilizada para prever o desempenho de um secador que utiliza alta temperatura. Na aeração usam-se baixos fluxos de ar e temperatura ambiente, e uma alta relação entre massa de matéria seca e massa de ar seco, comumente simbolizada pela letra R na literatura especializada, causando mudanças dinâmicas no ponto de estado do ar com alteração mínima no teor de umidade do grão. A maioria dos modelos de simulação de secagem usa uma baixa relação entre massa de matéria seca e massa de ar, e calcula o ponto de estado do ar após atravessar a camada de grãos em função da quantidade de água removida. O uso desse modelo convencional de secagem superestima a transferência de umidade, causando instabilidade na predição das condições de umidade e temperatura, principalmente para longos períodos de secagem.

Os primeiros modelos de equilíbrio, propostos por Bloome e Shove (1971) e Thompson (1972), foram desenvolvidos para fornecer resultados razoáveis em situações onde as condições de equilíbrio são válidas. Porém, para alto fluxo de ar, condições ambientais dinâmicas, e camada espessa, a condição básica de equilíbrio entre ar e grão não existe levando a erros significantes. Alguns autores introduziram no modelo equações de secagem e de reumedecimento em camada

final, e quando compararam com dados experimentais, o modelo de equilíbrio modificado apresentou perfis de umidade com razoável precisão.

SHARMA e MÜIR (1974) observaram que as zonas de secagem experimentais durante a aeração de milho e colza, são maiores que as simuladas, indicando que não é alcançado o teor de umidade de equilíbrio, especialmente para fluxo de ar elevado. MITTAL e OTTEN (1982) observaram que o modelo de equilíbrio de BLOOME e SHOVE (1971) superestima as taxas de secagem e de reumedecimento em experimentos realizados com milho em escala real. Resultados similares foram relatados por MOREY et alii (1979). A condição de equilíbrio não é alcançada freqüentemente na prática, principalmente para os grãos na camada inferior, e para fluxo de ar relativamente elevados. Isto foi considerado por BIONDI et alii (1988) que usou o modelo de equilíbrio de Thompson para baixo fluxo de ar e o modelo de MOREY para fluxo de ar maiores.

O modelo de equilíbrio tem sido usado para prever satisfatoriamente a secagem usando incrementos de tempo de três a 24 horas, e dividindo-se o leito de grãos de 10 a 30 camadas (SHARP 1982). Se são mantidos altos fluxos de ar por meio da massa de grãos, as condições de equilíbrio entre ar e grão não vão existir. Conseqüentemente o modelo deve ser modificado incorporando equações de secagem em camada delgada e de reumedecimento para melhorar a precisão das predições (MOREY, 1979; PIERCE e THOMPSON, 1979).

O modelo de equilíbrio calcula o teor de umidade final, em função basicamente da razão de massa (R) a qual é obtida indiretamente com a seleção

arbitrária do incremento do tempo de simulação, espessura da camada, e fluxo de ar. Por isso é difícil reconhecer a contribuição de cada variável isoladamente na solução do modelo. Para um dado valor de R o modelo prevê uma umidade final que também pode ser gerada com outra seleção de fluxo de ar, incremento de tempo e espessura da camada (THOMPSON, 1972). Por essa razão a variável R desempenha um importante papel no modelo de simulação de equilíbrio.

JINDAL e SIEBENMORGEN (1994), trabalhando com arroz, observaram que dados experimentais são muito limitados, especialmente nas camadas inferiores do silo, onde os grãos são mais afetados pelas mudanças nas condições do ar de secagem. Para fluxo de ar reduzido, a aproximação entre dados experimentais e simulados é geralmente boa. Porém, a utilização de fluxo de ar elevado pode resultar numa condição de não equilíbrio entre ar e grão, tomando necessário zonas de secagem mais extensas que aquela prevista pelo modelo de simulação para alcançar o equilíbrio. Um leve reumedecimento das camadas superiores durante o período inicial do teste e maiores taxas de secagem que aquelas que realmente ocorrem foram previstas pelo modelo, especialmente para camadas inferiores.

Foi demonstrado ainda por JINDAL e SIEBENMORGEN (1994) que o teor de umidade final numa camada de grãos depende diretamente do valor de R , ou seja, da relação entre massa de matéria seca e massa de ar seco. Supondo-se a espessura da camada de grãos e o incremento do tempo de secagem fixados, um incremento no fluxo de ar causa um decréscimo no valor de R , com um correspondente decréscimo no teor de umidade final do grão. Isto está em

concordância com a suposição de condição de equilíbrio entre o ar e o grão, que é feita no modelo de equilíbrio. Um aumento no fluxo de ar resulta num progressivo decréscimo no teor de umidade final. Porém, um incremento no **fluxo** de ar através da camada de grãos não significa necessariamente um aumento correspondente na taxa de remoção de umidade. Para uma dada espessura de camada e incremento de tempo, a escolha do fluxo de ar pode levar a discrepância maior ou menor entre resultados experimentais e simulados.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado no setor de Armazenagem e Processamento de Produtos de Origem Vegetal do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais.

O produto utilizado foi o café (*Coffea arabica* L.), “cereja”, da variedade Catuaí de duas procedências distintas. A colheita foi realizada pelo sistema de derriça no chão com um teor de umidade de aproximadamente 60% b.u. Em seguida era realizada a lavagem e a pré-secagem do café.

A pré-secagem foi realizada para que o teor de umidade de colheita do café fosse reduzido a aproximadamente 20% b.u. Esse teor de umidade de 20% b.u. foi determinado com base em um trabalho preliminar executado na fazenda Mundial, com apoio da COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS, CEMIG.

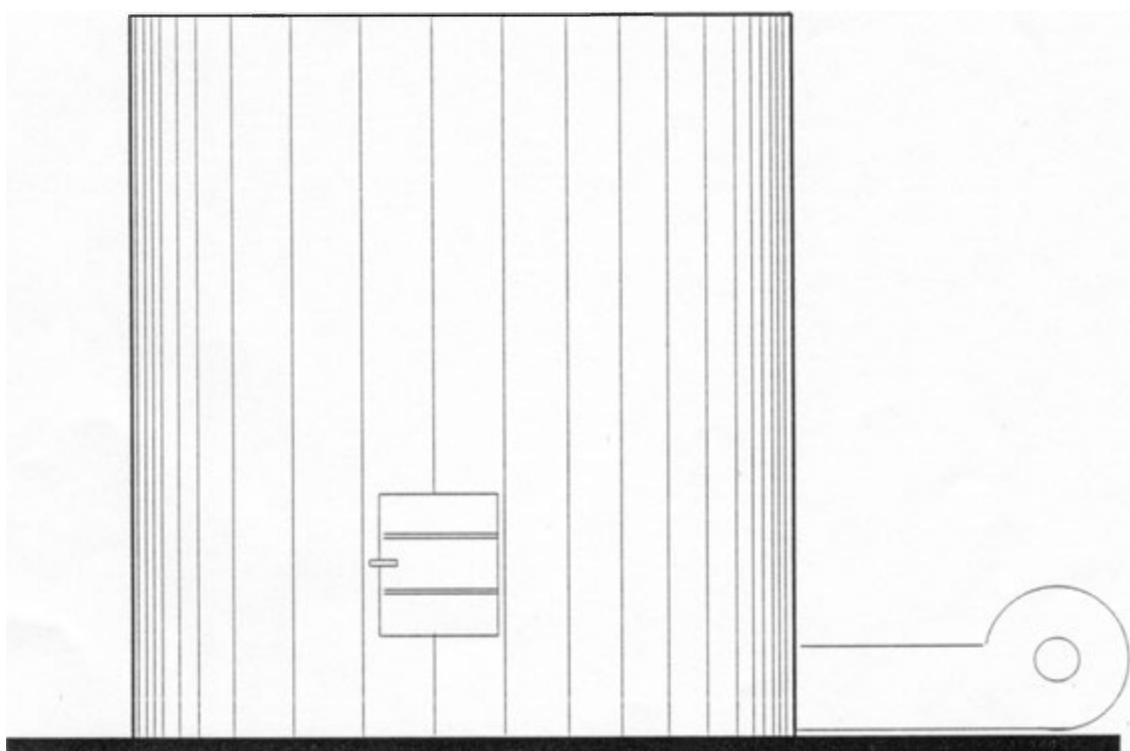
Foi utilizado para os testes somente o café “cereja”, ou seja, cafés maduro e verdes, sendo misturado café de dois dias de colheita.

O café originário da Fazenda Santo Antônio situada no município de Araponga, Minas Gerais, teve a pré-secagem realizada em terreiro de cimento na propriedade. Foi utilizado também café “cereja” procedente do Sítio Araúna, município de Viçosa, Minas Gerais, sendo a pré-secagem realizada em secador de leito fixo no local do experimento.

O produto quando chegava, independente de sua procedência, era descarregado no secador de leito **fixo** onde eram retiradas amostras para determinação do teor de umidade inicial e observada a necessidade de secagem complementar para obter-se um teor de umidade em torno de 20% b.u. recomendado para o início da secagem a baixa temperatura. Depois era descarregado diretamente na moega e levado ao silo por um transportador de caneca.

3.1. Silo-Secador

Construiu-se um silo-secador de alvenaria para realização dos testes de secagem (Figura 1). O silo possui 2,0 m de diâmetro e 2,0 m de altura, com capacidade para 6,3 m³ de café. O silo era equipado com um piso em chapa perfurada, para formar um “plenum”, e uma porta lateral para descarga do produto.



VISTA FRONTAL

FIGURA 1 - Vista Frontal do **Silo** Utilizado nos Testes de Secagem com *Ar* Ambiente.

3.2. Testes Experimentais

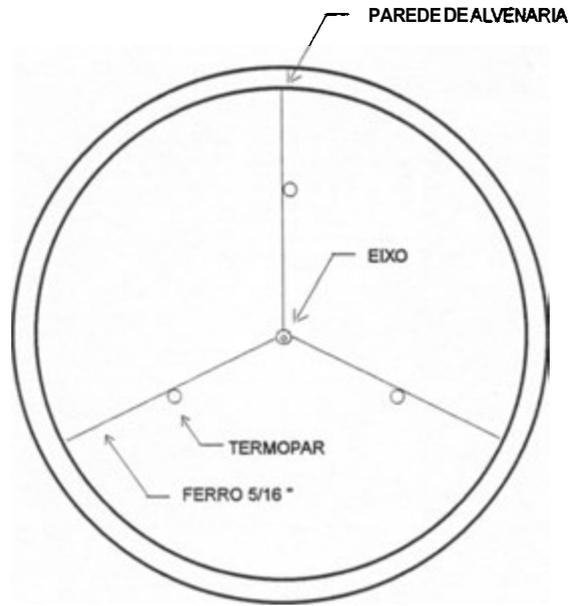
Foram realizados seis testes de secagem, sendo três realizados em maio e um em setembro de 1993, e dois realizados em julho de 1994.

As condições do ar ambiente, para o período dos testes foram obtidas junto a Estação Meteorológica Principal, localizada em Viçosa.

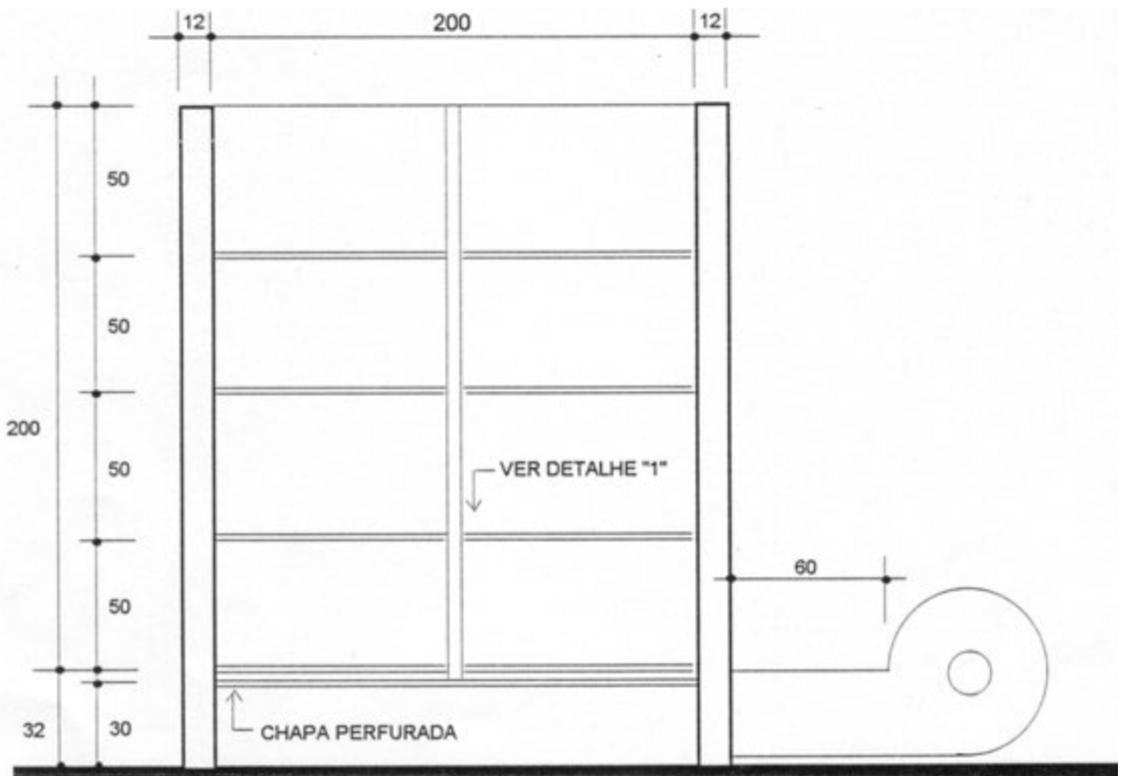
3.2.1. Vazão Específica e Pressão Estática

O ar de secagem foi insuflado no silo por meio de um ventilador centrífugo de pás retas acionado por um motor elétrico de 1,0 CV. A vazão específica fornecida pelo sistema foi calculada a partir da curva característica do ventilador, tendo como dado de entrada a pressão estática no “plenum” medida com um micromanômetro inclinado. Utilizou-se a média dos dados obtidos em seis pontos, sendo três próximo ao piso e três próximo a chapa perfurada. A pressão estática foi medida de 20 em 20 cm, ao longo da altura de camada de café no silo, em três pontos no mesmo plano horizontal com um ângulo de 120° entre eles (Figura 2). As medidas foram realizadas diariamente às 8:00 horas, utilizando-se um micromanômetro.

A curva característica do ventilador, pressão estática versus vazão de ar, foi determinada de acordo com a metodologia proposta pela NAFM (1952).



DET. "1"
ESC. — 1:25



CORTE TRANSVERSAL

ESC. _____ 1:25

FIGURA 2 - Corte Transversal do Silo Utilizado nos Testes de Secagem com *Ar* Ambiente.

3.2.2. Teor de Umidade

Durante todo período de secagem eram retiradas, diariamente amostras na camada superior do café no silo para determinação do teor de umidade, com o objetivo de determinar-se a curva de secagem. Quando essa camada não mais apresentava variação no teor de umidade considerava-se que o café havia se aproximado do equilíbrio com as condições psicrométricas médias do ar de secagem, e o teste era finalizado. O silo era então descarregado, quando retiravam-se amostras para determinação do teor de umidade final médio e massa específica. Para a determinação do teor de umidade utilizou-se o método padrão de estufa $105 \pm 3^{\circ}\text{C}$ por um período de **24** horas; fizeram-se três repetições em cada determinação.

3.2.3. Massa Específica do Café

Amostras para determinação da massa específica eram coletadas durante as operações de carga e descarga do silo-secador.

A massa específica foi determinada utilizando-se uma balança de peso hectolítrico de capacidade de um litro, sendo realizadas cinco repetições.

3.2.4. Temperatura da Massa Durante a Secagem

Assim que o silo era carregado, o sistema de ventilação era acionado, funcionando durante todo o período de secagem. Mediu-se a temperatura na massa, durante a secagem, em doze pontos como mostrado na Figura 2. As temperaturas foram anotadas diariamente às 9, 12, 15 e 18 horas. O sistema de medição de temperatura era composto por termopares tipo “T” ligados a um potenciômetro com precisão de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$.

3.2.5. Qualidade Final

Amostras do produto seco foram enviadas a Cooperativa dos Cafeicultores da Região de Laginha Ltda., Manhumirim, Minas Gerais, para realização do teste de bebida.

3.3. Simulação de Secagem

Para simulação do processo de secagem desenvolveram-se dois programas computacionais em linguagem Turbo Pascal. Em um dos programas adaptou-se o modelo proposto por THOMPSON et alii (1968) e no outro o modelo de equilíbrio de THOMPSON (1972). Para a solução dos modelos necessita-se de propriedades físicas do produto, e no modelo de THOMPSON et alii (1968) necessita-se, também, de uma equação de secagem em camada delgada. A seguir

apresenta-se as propriedades físicas do café e a equação de secagem em camada delgada, utilizadas nos programas computacionais:

Equação das isotermas de sorção da água para o café (ARTEAGA, 1986):

$$e = 1,1298 \times \frac{[-\ln(1 - UR)]^{0,5405}}{T + 40,535} \quad \text{eq. 1}$$

em que

Ue = teor de umidade de equilíbrio, decimal b.s.;

UR = umidade relativa do ar, decimal; e

T = temperatura do ar, "C.

Equação de secagem de café em camada delgada (PEREIRA, 1990):

$$RU = \exp \left[-a \times t^b \times \exp \left(\frac{-c}{T + 273,15} \right) \right] \quad \text{eq. 2}$$

em que

RU = razão de umidade do produto, em decimal;

t = tempo de secagem, em minutos; e

a,b,e c = parâmetros relativos ao produto, obtidos em **função** do teor de umidade inicial do café (Quadro 2).

QUADRO 2 - Valores dos parâmetros a, b e c da equação 2

Teor de Umidade (% b.u.)	a	b	c
> 57%	14,9430	0,832825	5.631,17
de 30 a 57%	17,375	0,736281	5.533,11
< 30%	105.756	0.60564	2.751.53

Equação do calor específico do café, apresentada por OLIVEROS TASCON (1984):

$$cp = 1,674 + 2,51 \times \frac{U}{1+U} \quad \text{eq. 3}$$

em que

cp = calor específico do café, $\text{kJ.kg}^{-1}.\text{°C}^{-1}$

U = teor de umidade do café, decimal base seca;

Equação do calor latente de vaporização da água do café, apresentada por SILVA, 1991:

$$Lv = 3109,4 - 2,38Tg + 0,369(Tg^2)(Ue^{1,85}) \frac{1-URe}{URe} \quad \text{eq. 4}$$

em que

Lv = calor latente de vaporização, kJ.kg^{-1} ;

Tg = temperatura do produto, K; e

URe = umidade relativa de equilíbrio, decimal.

As propriedades termodinâmicas do ar úmido foram calculadas utilizando-se equações psicrométricas, implementadas em forma de sub-rotinas em linguagem Pascal (QUEIROZ et alii, 1982).

Montou-se arquivos de dados de entrada para o programa de computador, referentes a cada teste de secagem. Os dados de entrada são: teor de umidade e temperatura inicial do produto, vazão do ar de secagem ($\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$), massa do produto, número de divisões da camada, tempo de secagem, incremento do tempo de simulação. O programa computacional utilizou os dados de temperatura e umidade relativa do ar em condições ambiente coletados de duas em duas horas. Assim, o valor do incremento de tempo de simulação foi fixado em 2 horas, e a temperatura e a umidade relativa do ar de secagem era o valor médio para igual período.

Procurou-se selecionar o melhor valor para a variável **R**, relação entre massa de matéria seca e massa de ar seco, para a simulação de secagem de cada teste por meio da variação do número de camadas, visto que a vazão de ar empregada e o incremento de tempo eram variáveis **fixas** no programa implementado.

4. RESULTADO E DISCUSSÃO

Foram realizados seis testes de secagem, quatro em 1993 e dois em 1994, sendo que em 1994 foi utilizado café descascado em um dos testes.

Os valores médios de temperatura e umidade relativa do ar ambiente, as condições iniciais do produto e os parâmetros de secagem utilizados nos testes experimentais realizados estão apresentados no Quadro 3. Estes valores foram também utilizados na simulação do processo de secagem, exceto as condições do ar ambiente para o qual utilizam-se dados dinâmicos, obtidos de duas em duas horas. Os resultados dos testes experimentais encontram-se no Quadro 4.

No teste 1 foram utilizados três lotes de café. O primeiro lote ao ser recebido foi levado ao secador de leito fixo e seu teor de umidade reduzido ao patamar desejado (25% b.u.) e colocado no silo. O mesmo procedimento foi utilizado nos outros dois lotes. O segundo lote foi colocado no silo cinco dias depois e apresentava teor de umidade de 28% b.u., o terceiro lote foi colocado cinco dias depois do segundo, com o teor de umidade de 18% b.u. Depois de cheio,

QUADRO 3 - Condições Iniciais Médias do *Ar* e do Grão para cada Teste Experimental

Condições dos Testes	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5	Teste 6*
<i>Ar Ambiente:</i>						
Temperatura, °C	17,0	21,5	15,6	17,6	14,5	15,6
Umidade relativa, %	84,5	76,5	83,0	88,7	86,0	76,5
<i>Ar de secagem:</i>						
Temperatura, °C	18,0	22,5	16,6	18,6	15,5	16,6
Fluxo, m ³ .min ⁻¹ .m ⁻²	9,07	8,91	8,36	7,16	7,16	8,00
<i>Produto:</i>						
Teor de umidade, % b.u.	21,8	19,2	22,8	26,4	16,4	36,8
Massa específica, kg.m ⁻³	400,0	398,1	401,2	440,0	394,7	467,0
Procedência	Vicosa	Araponza	Vicosa	Vicosa	Vicosa	Vicosa

* *café descascado.*

QUADRO 4 - Condições Médias Finais para os Testes Experimentais

Condições dos Testes	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5	Teste 6*
Tempo de secagem, h	823	600	1.062	170	256	1.062
Teor de umidade, % b.u.	14,3	14,1	15,4	19,4	14,7	13,4
Massa específica, kg.m ⁻³	378	383	388,6	380,0	420,0
Teste de bebida	nado	dura	dura	dura	dura

* *café descascado.*

o silo foi descarregado e realizada a homogeneização e limpeza da massa de café. A qualidade de bebida inferior do café no teste 1 pode ser atribuída principalmente a heterogeneidade do café. Entretanto, o café apresentou um bom

tipo, indicando um teor de umidade final uniforme. O produto utilizado no teste **4** foi obtido da mesma maneira, o que ajuda a justificar sua posterior contaminação por fungos.

O café utilizado no teste **2** foi obtido de dois lotes de café. O primeiro chegou com teor de umidade de 35% b.u., e foi submetido a uma pré-secagem no secador de leito fixo. Chegando o segundo lote, que já apresentava teor de umidade em torno de 20% b.u., este foi descarregado no secador de leito **fixo** e misturado com o primeiro lote no mesmo secador, e transportado para o silo.

O teste **3** também foi formado por dois lotes de café que chegaram em estado cereja, sendo toda a pré-secagem realizada no secador de leito-fixo na Universidade Federal de Viçosa. O segundo lote chegou três **dias** depois do primeiro. Quando o teor de umidade estava próximo de 20% b.u., o produto era passado para o silo que depois de cheio foi descarregado para limpeza e melhor homogeneização da massa de café, sendo depois transportado novamente para o silo e iniciado o teste utilizando temperatura ambiente.

O teste **6** foi realizado com café descascado, proveniente do sítio Araúna. Chegou na UFV com teor de umidade de 36,8% b.u. e foi diretamente descarregado no silo.

4.1. Manejo do Sistema

Nos testes **1** e **4**, iniciados *em* 27/05/93, inicialmente o ventilador era ligado somente durante o dia, funcionando em média nove horas **diárias**. **A** partir

do décimo segundo dia de secagem o sistema de ventilação funcionou ininterruptamente. No teste **4** a partir do dia **3/6/93**, oitavo dia de secagem, foi observada a presença de fungos. No décimo quinto dia esse teste foi interrompido e o café transportado ao secador de leito-fixo onde foi submetido a uma secagem em alta temperatura (**50°C**) por três horas. No descarregamento do silo o café apresentava teor de umidade médio de 19,4% b.u., e depois da secagem em alta temperatura o teor de umidade era de 16,4% b.u. O café voltou ao silo sendo considerado o início do teste **5**.

No teste 2 o ventilador foi mantido ligado durante todo o teste.

O método de secagem proposto, utilizando ar com temperatura ambiente, favoreceu a obtenção de “capa melosa” o que é considerado um parâmetro indicativo de **uma** secagem bem conduzida para os produtores da Região da Zona da Mata. Porém, isso dificultou a simulação do processo de secagem em virtude da diferença do conteúdo de umidade entre o grão e a casca do café. No teste 3 esse fato foi mais notável, pois o teor de umidade do café “cereja” permaneceu constante durante **38** dias com o ventilador funcionando ininterruptamente. Quando o café foi beneficiado, encontrou-se um teor de umidade de 15,5% b.u. A partir de então o manejo do sistema foi modificado, com o sistema de ventilação desligado durante a noite e determinado o teor de umidade do café em coco e do café beneficiado.

Simultaneamente com o teste 3, foi realizado um teste utilizando café descascado, teste **6**, com teor de umidade inicial de 36,8% b.u. (pré-secagem em terreiro) ambos submetidos ao mesmo manejo. Inicialmente o ventilador

funcionava ininterruptamente, e depois de 38 dias de secagem o ventilador passou a ser desligado durante a noite. O tempo de secagem foi o mesmo.

Considerando que a qualidade de bebida foi igual a obtida para o café em coco e o teor de umidade final ainda mais seguro para o armazenamento, possivelmente com o descascamento do café pode-se iniciar a secagem em temperatura ambiente com um teor de umidade bem superior aquele indicado para o café em coco, pois com a remoção da casca, rica em açúcares, diminui-se o risco do crescimento de fungos.

4.2. Pressão Estática

A determinação da pressão estática no plenum permitiu a determinação da vazão de ar fornecida pelo ventilador.

O gradiente de pressão estática em todos os testes sempre foi menor que cinco milímetros de coluna d'água (mmca) por metro de coluna de café. Este valor é pequeno porque a altura da camada era de apenas dois metros, e a limpeza do produto era ideal.

Na Figura 3, correspondente ao teste 2, pode-se observar uma tendência de aumento da pressão estática no início do teste, e o valor se estabilizando durante o restante do período de secagem. O aumento inicial ocorreu em virtude da redução de volume que o café apresentou no início dos testes. A partir de um teor de umidade em tomo de 17% b.u. foi verificado que não ocorre mais essa

pôde ser evidenciado no teste 5, Figura 4, que apresentava teor de umidade inicial de 16,5% b.u., e a pressão estática permaneceu praticamente constante. A variação na pressão estática não teve influência na vazão de ar fornecida ao sistema de secagem.

No teste 6, Figura 5, em que foi utilizado café descascado, não houve variação significativa no volume da massa, apesar de o teor de umidade inicial ser de 36,8% b.u. Como consequência, a pressão estática permaneceu constante durante todo o período de secagem. A perda de pressão estática na massa de grãos neste teste foi maior do que a observada nos testes com café “cereja”.

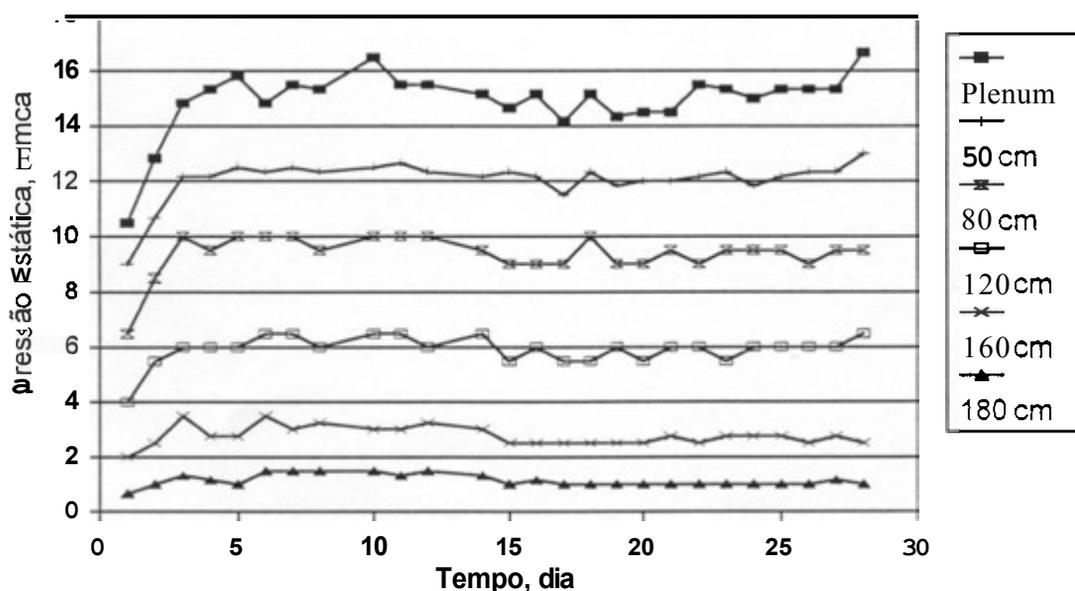


FIGURA 3 - Variação da Pressão Estática do Ar ao Longo da Camada de Café, Durante o Teste 2.

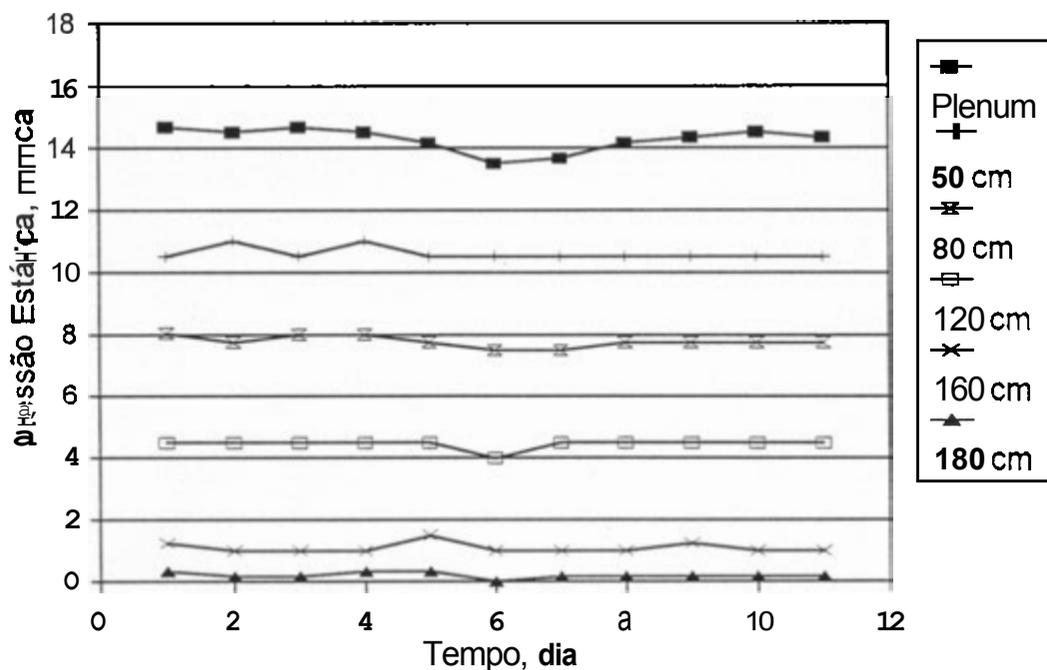


FIGURA 4 - Variação da Pressão Estática do *Ar* ao Longo da Camada de Café, Durante o Teste 5.

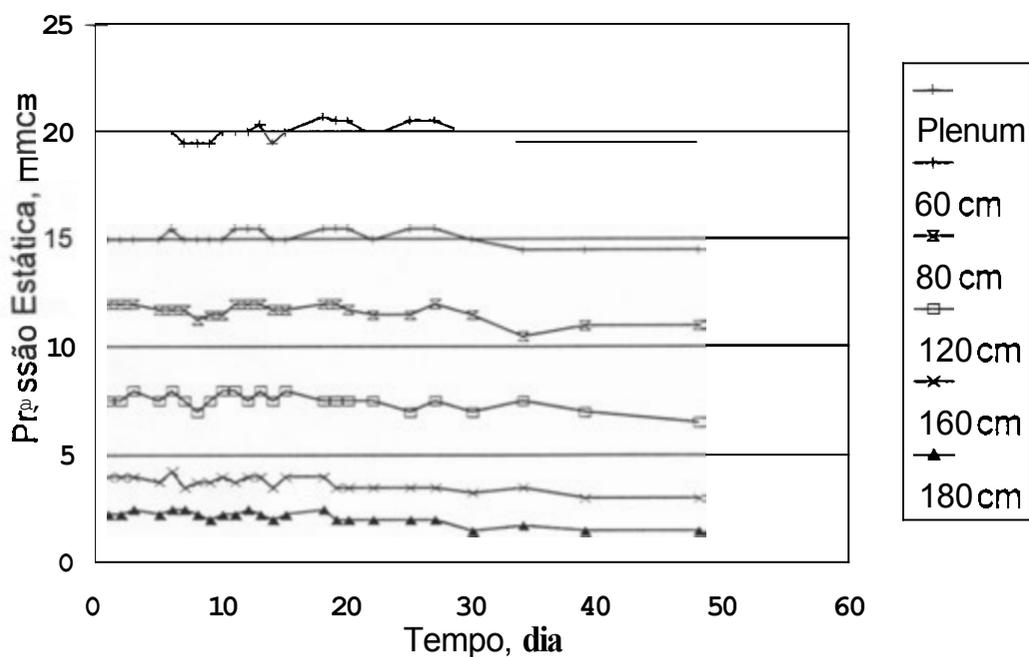


FIGURA 5 - Variação da Pressão Estática do *Ar* ao Longo da Camada de Café Descascado, Durante o Teste 6.

4.3. Temperatura

O monitoramento da temperatura no interior do silo é essencial para identificação de algum foco de deterioração na massa de grãos, visto que a deterioração do café provoca elevação da temperatura da massa. A determinação da temperatura também permite um acompanhamento do processo de secagem.

Em todos os testes a massa de grãos apresentou temperatura uniforme. Apesar do aquecimento de aproximadamente 1°C ter ocorrido em virtude do ventilador, a diferença de temperatura entre a massa de café e o ar ambiente não superou 5°C.

Observando o gráfico da variação de temperatura durante o processo de secagem no teste 2, Figura 6, nota-se que a temperatura ambiente geralmente foi superior a temperatura na massa de grãos. Isso ocorreu em razão do resfriamento evaporativo durante a secagem. No teste 4, Figura 7, a temperatura ambiente apresentou a tendência a ser inferior a temperatura na massa de grãos, evidenciando a ocorrência de contaminação por fungos, o que foi verificado visualmente, conforme descrito no item relativo ao manejo do sistema

Para o teste 2, Figura 6, observa-se que na leitura realizada às 9h a diferença de temperatura entre a massa de grãos e o ar ambiente foi menor, quando comparada com a leitura realizada a tarde. Isso ocorreu devido a umidade relativa ser bastante elevada nesse horário. Como consequência o potencial de secagem do ar é pequeno. As 15h essa diferença aumentou consideravelmente, visto que a umidade relativa do ar é menor e a temperatura maior, aumentando a capacidade de secagem do ar. Para os outros testes, realizados em meados de julho, época mais fria, esse efeito é menos evidente (Apêndice B).

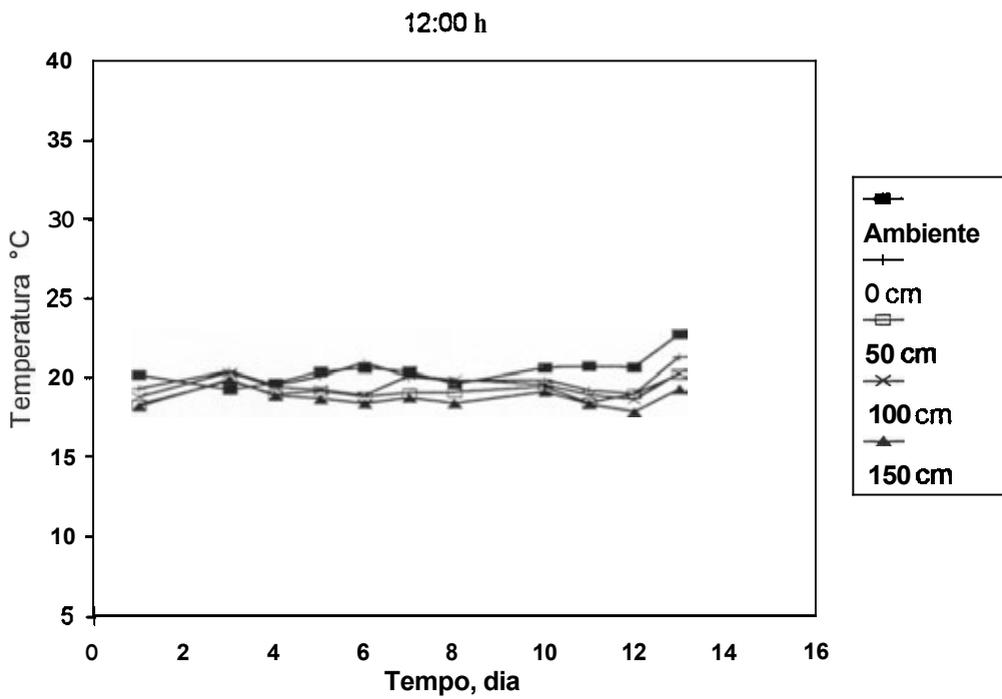
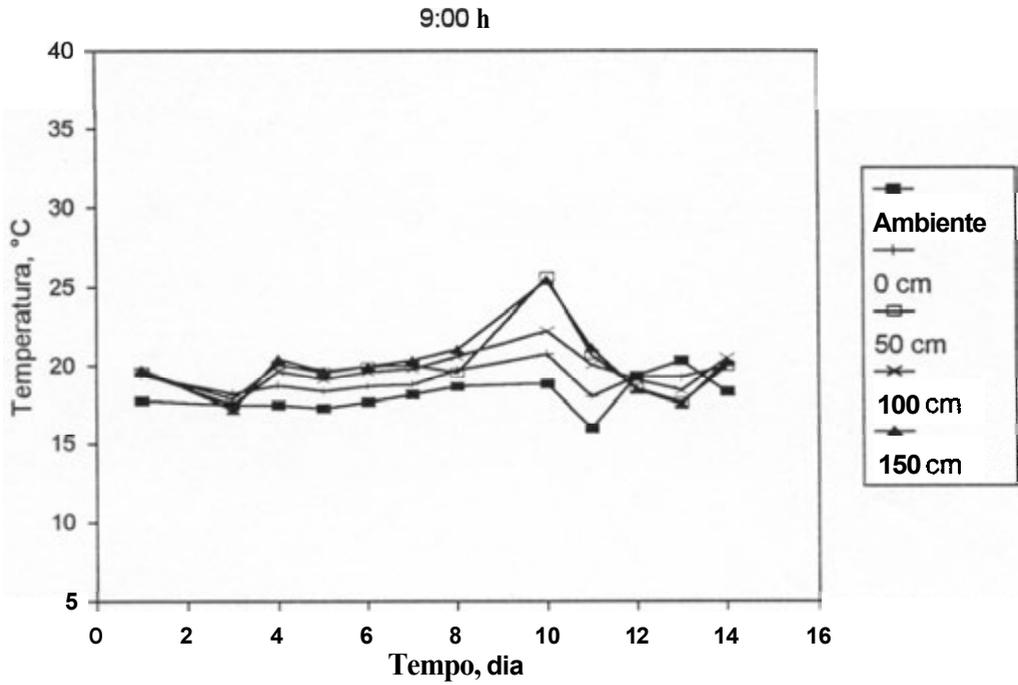


FIGURA 7 - Variação na Temperatura do *Ar* Ambiente, e da Temperatura do *Ar* de Secagem ao Longo da Camada de Café, Durante o Teste 4.

4.4. Curvas de Secagem Experimentais

O andamento da secagem foi característico para cada teste, devido sua dependência das condições iniciais do produto, das condições ambientais e do manejo do ventilador. No gráfico mostrado na Figura 8 observa-se claramente esse efeito, onde as curvas de secagem experimentais são bem distintas de um teste para outro. Entretanto, pode-se observar que a curva de secagem dos testes 1 e 4 apresentam a mesma tendência, uma vez que foram realizados na mesma época.

A umidade final média foi variável para cada um dos testes, porém em tomo de 14% b.u. Isso indica que o teor de umidade obtido está próximo ao teor de umidade de equilíbrio do café para as condições climáticas de Viçosa na época do penodo de realização dos testes.

Na secagem combinada é fundamental o acompanhamento do processo para um bom manejo do sistema. Isso foi claramente observado nos testes realizados em 1994, pois a umidade relativa ambiente foi bastante elevada, bem como o teor de umidade inicial do produto. Na Figura 9 mostram-se as curvas de secagem para as camadas superior, média e inferior do teste 3. Nesse teste, durante 38 dias o sistema de ventilação funcionou ininterruptamente, mas o produto não secou. Decidiu-se, então, desligar o ventilador durante a noite, quando o ar apresentava umidade relativa próximo a 100%. Com esse procedimento observou-se a secagem do produto. É importante ressaltar que o

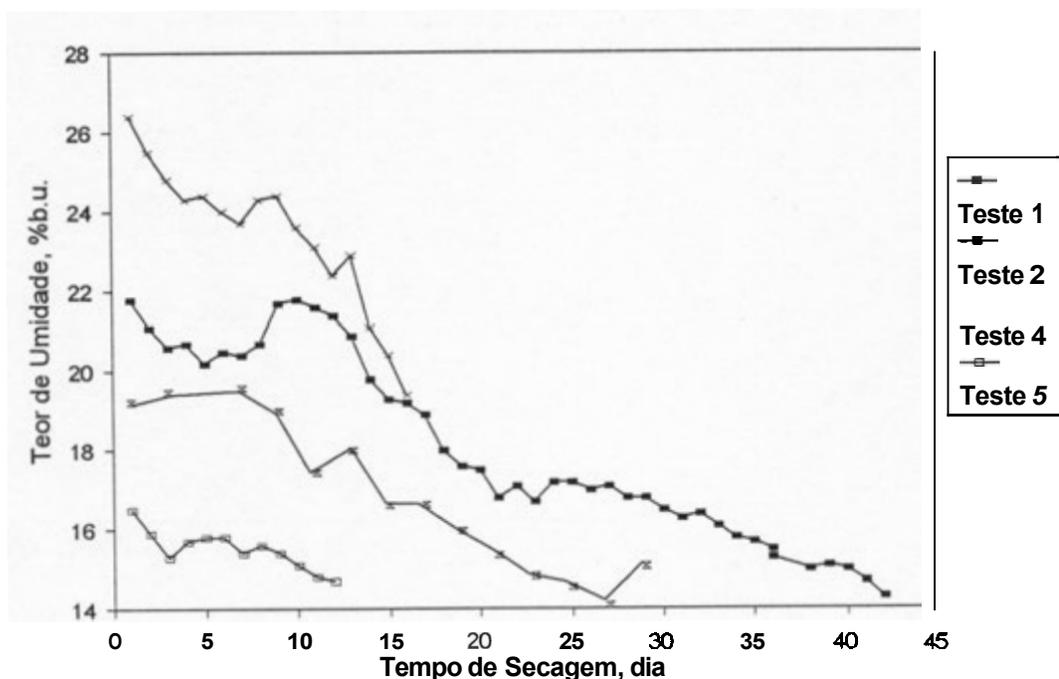


FIGURA 8 - Variação do Teor de Umidade do Café, na Camada Superior do Silo, Para os Testes 1, 2, 4, e 5.

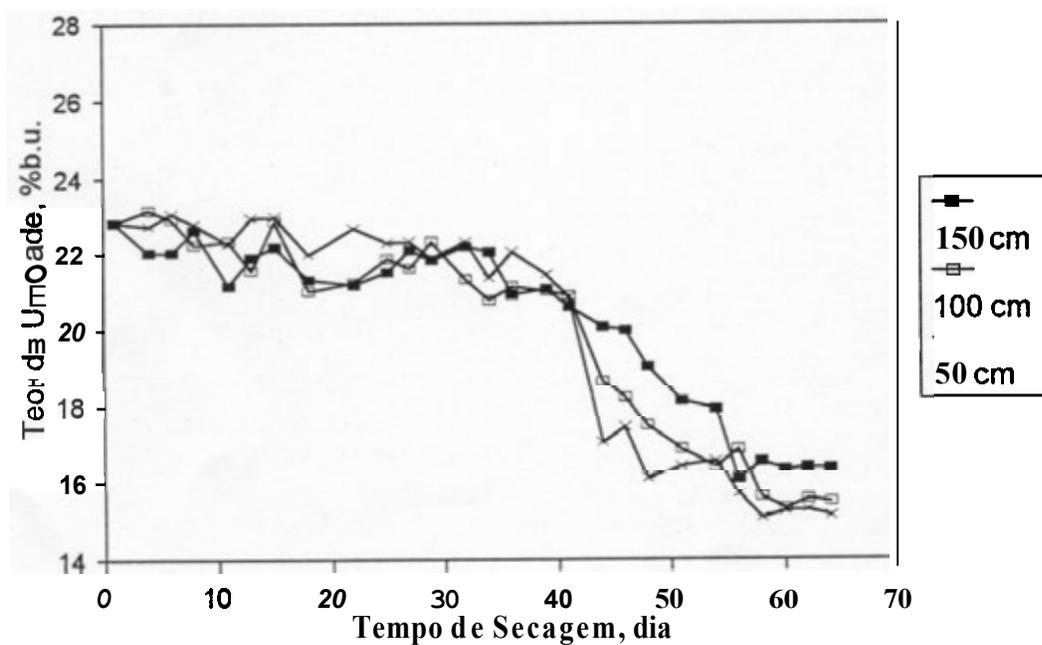


FIGURA 9 - Variação do teor de Umidade do Café em Coco, a 50 cm, 100 cm, e 150 cm acima da Chapa Perfurada, Para o Teste 3.

teor de umidade final médio da massa de café em coco foi de 15,7% b.u., mas o teor de umidade médio do café beneficiado era de 11,7% b.u. Isso ocorreu em virtude da formação de capa melosa no café. Provavelmente, como a casca é mais higroscópica que o grão, a umidade que era recuperada a noite ficava retida na casca, favorecendo a dissolução dos açúcares desta e impedindo o reumedecimento do grão.

Foi observado um gradiente de umidade pequeno ao longo da camada de grãos. Obtendo-se um produto com teor de umidade bastante uniforme, o que é uma condição muito importante para obtenção de um produto de boa qualidade.

No teste 6 utilizou-se café descascado. No gráfico da Figura 10 mostram-se os dados experimentais de teor de umidade em função do tempo. Observa-se nesse gráfico que há perda de umidade em determinados períodos e reumedecimento do produto em outros. O produto **passou** a não sofrer reumedecimento, depois de períodos de secagem, quando adotou-se a estratégia de ligar-se o ventilador somente no período diurno. Isso foi feito depois do quadragésimo dia de secagem. Entre o trigésimo (21,0% b.u.) e o trigésimo quinto dias (27,0% b.u.) de secagem, o café ganhou 6 pontos percentuais de umidade, em virtude das condições adversas do ar de secagem, e por estar o café sem casca foi facilitada a troca de umidade com o ar.

Os testes 3 e 6 foram iniciados e terminados no mesmo **dia**. Apesar disso, comparando-se a curva de secagem do teste 3, Figura 9, com a curva de secagem do teste 6, Figura 10, onde foi utilizado café descascado, observa-se que a taxa de secagem para o café descascado foi bem maior que para o café cereja

O café é um produto de características higroscópicas bem distinta dos outros produtos com grãos de cereais e oleaginosas, que geralmente são submetidos a um processamento semelhante, apresentando mais facilidade em ganhar água do que perder. Esse fato deve ser considerado na hora de se dimensionar um sistema de secagem para café utilizando ar ambiente.

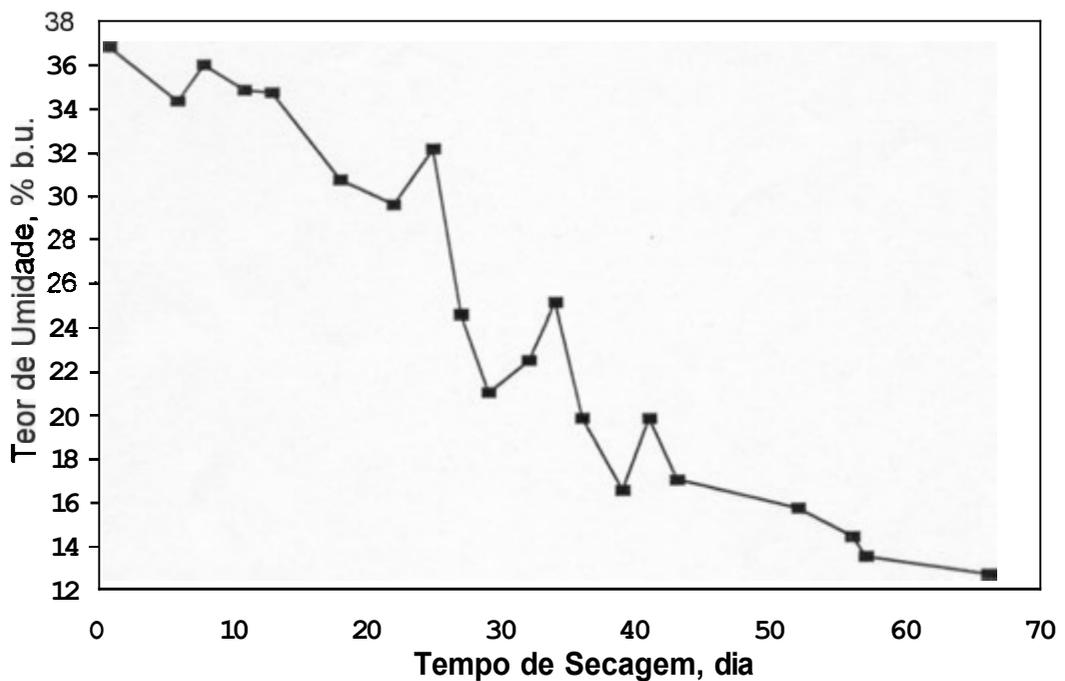


FIGURA 10 - Variação do Teor de Umidade do Café Descascado, na Camada Superior do Silo, Para o Teste 6.

4.5. Simulação de Secagem

As Figuras 11, 12 e 13 mostram as curvas de secagem simuladas e experimentais para os testes 1, 2 e 3, respectivamente. Os testes 4 e 5 não foram considerados na simulação devido a interrupção do teste em consequência da presença de fungos. Observa-se nessas figuras, que a curva de secagem simulada com o modelo de Thompson aproxima-se melhor dos dados experimentais, em comparação com a curva de secagem simulada com o modelo de equilíbrio.

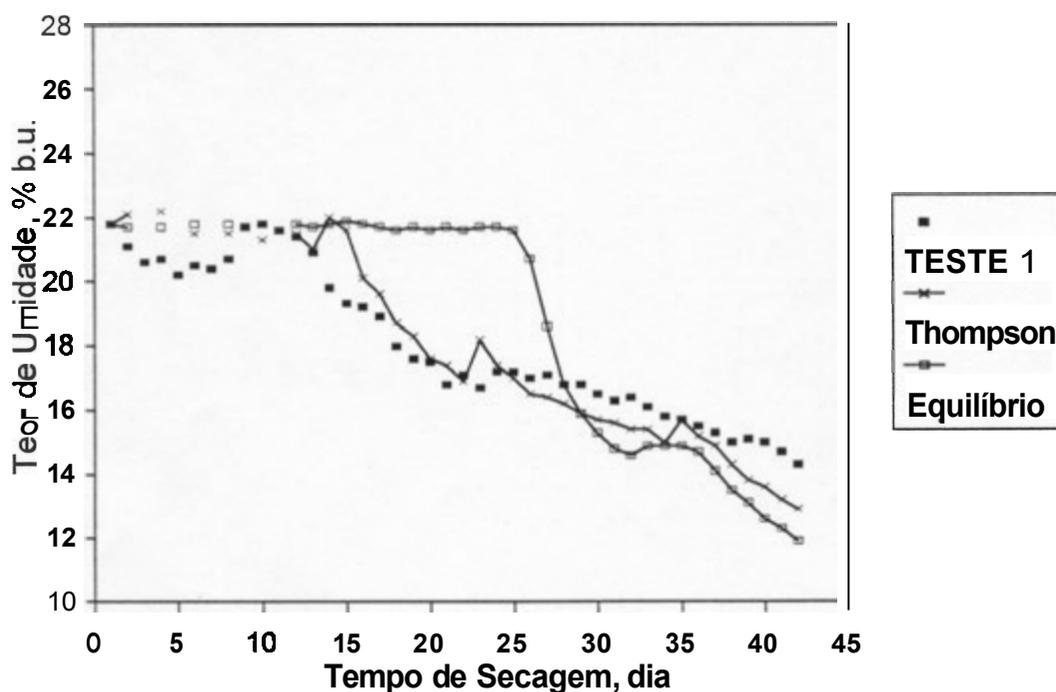


FIGURA 11 - Variação do Teor de Umidade Experimental e Simulado, Correspondente ao Produto na Camada Superior do Silo, em Função do Tempo (Teste 1).

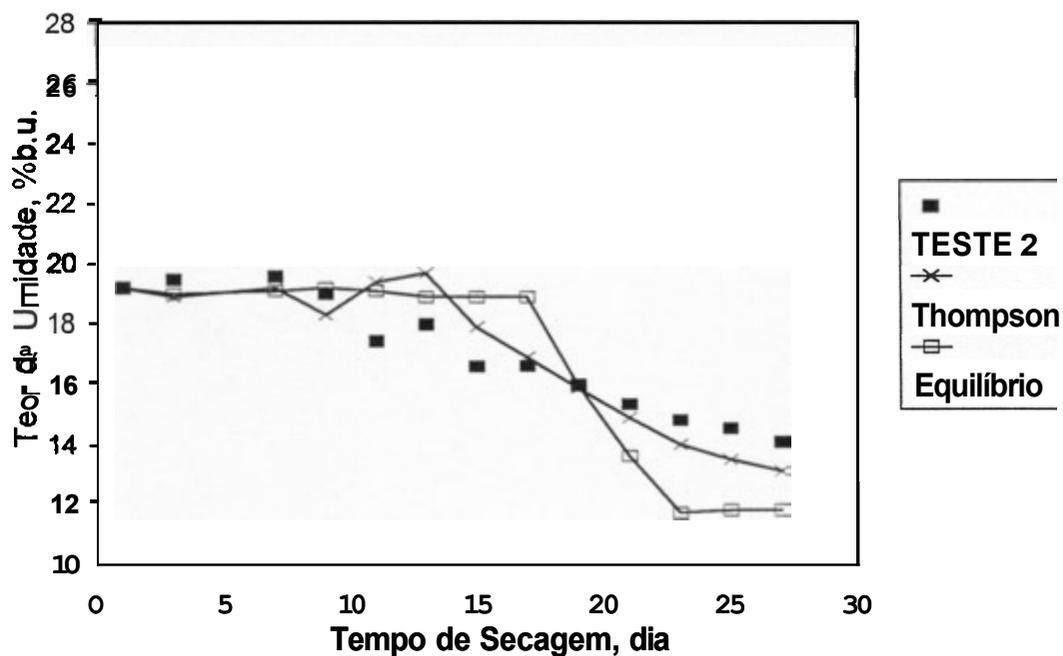


FIGURA 12 -Variação do Teor de Umidade Experimental e Simulado, Correspondente ao Produto na Camada Superior do Silo, em Função do Tempo (Teste 2).

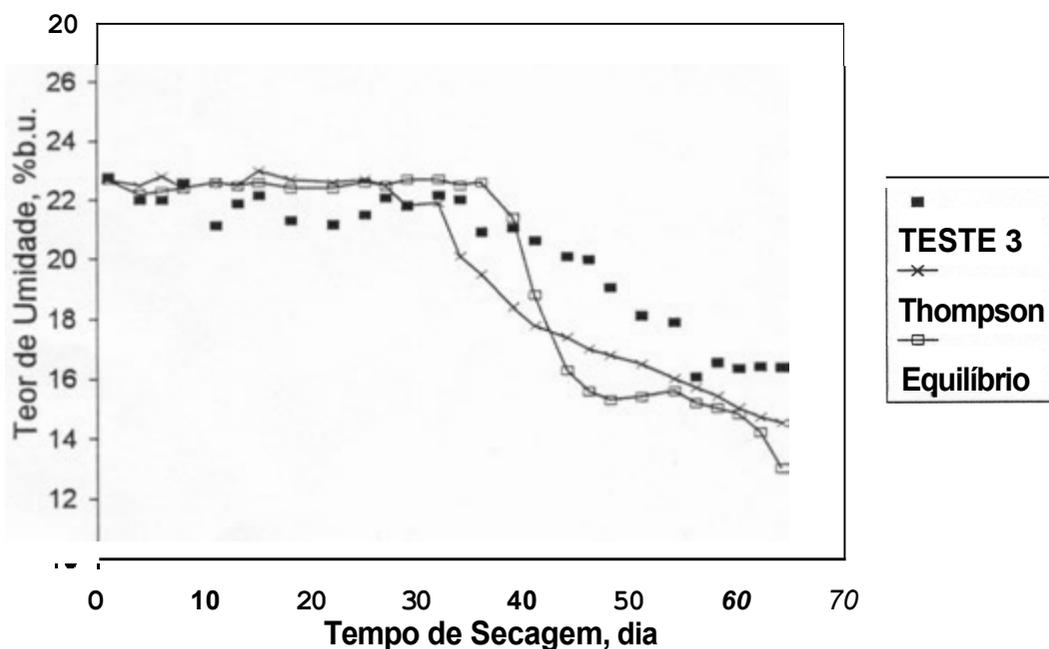


FIGURA 13 - Variação do Teor de Umidade Experimental e Simulado, Correspondente ao Produto na Camada Superior do Silo, em Função do Tempo (Teste 3).

O comportamento da curva de secagem simulada com o modelo de equilíbrio pode ser justificado devido a utilização de vazões de ar elevadas, tendo em vista que o modelo de equilíbrio foi concebido para ser utilizado em situações com baixas vazões de ar. Além disso, o ar de secagem utilizado estava em condições dinâmicas, isto é, a temperatura e umidade relativa do ar foi variável para cada incremento de tempo de simulação, não possibilitando a condição de equilíbrio do ar com o café.

Nos testes experimentais observou-se que inicialmente as mudanças no teor de umidade na última camada foram insignificantes, pois o ar de secagem ao alcançar essa camada apresentava uma baixa capacidade de secagem em decorrência do resfriamento evaporativo, no qual diminui sua temperatura usando essa energia na evaporação da água do café, aumentando, conseqüentemente, sua umidade relativa. Observa-se para ambos os modelos que eles, inicialmente, não prevêem essa variação do teor de umidade. Esse período corresponde ao tempo que a frente de secagem gasta para alcançar a última camada de café.

Apesar de a equação de camada delgada ter sido obtida para temperaturas acima de 40°C, e os testes de secagem terem sido realizados com temperatura ambiente, os desvios entre teores de umidade experimentais e simulados com o modelo de Thompson são menores que aqueles observados utilizando-se o modelo de equilíbrio.

As Figuras 14 e 15 mostram os gráficos de correspondência entre resultados experimentais e simulados. Observa-se, também nesses gráficos, que os dados simulados com o modelo de Thompson aproximam-se melhor dos dados

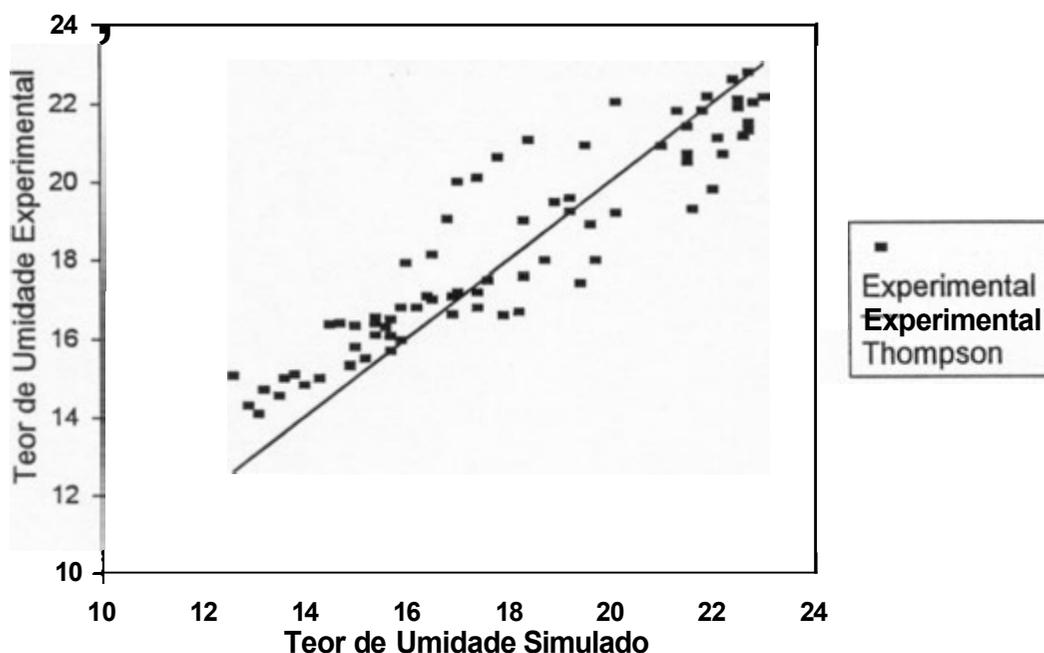


FIGURA 14 - Gráfico de Correspondência Entre os Valores de Teor de Umidade, Experimentais e Simulados pelo Modelo de Thompson em Alta Temperatura.

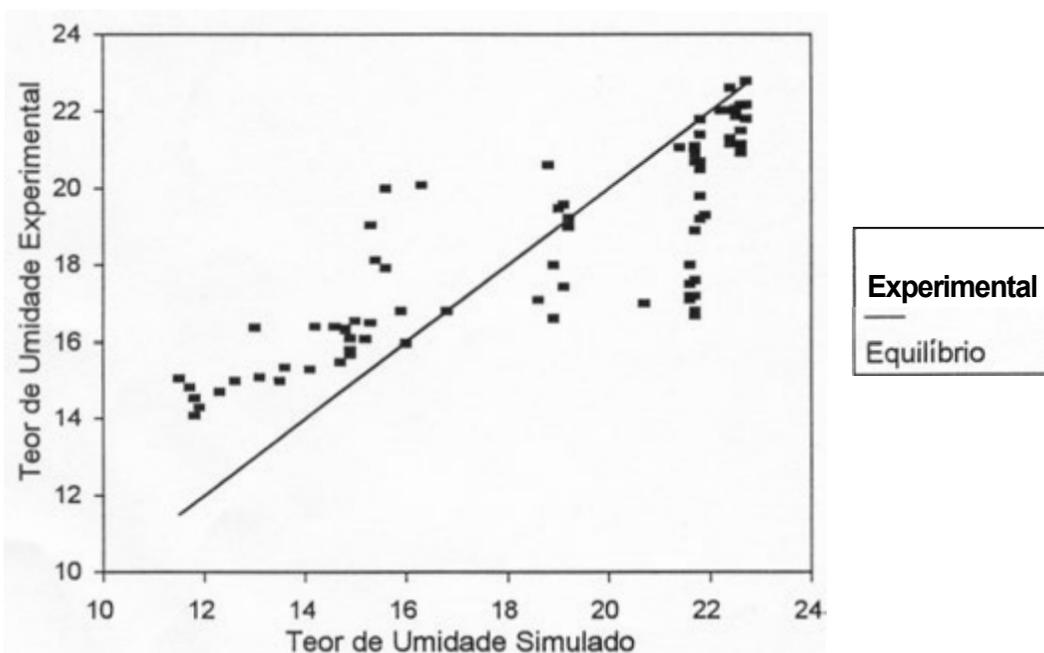


FIGURA 15 - Gráfico de Correspondência Entre os Valores de Teor de Umidade, Experimentais e Simulados pelo Modelo de Equilíbrio de Thompson.

experimentais. O modelo de equilíbrio tende a subestimar a secagem para teores de umidade superiores a 18% b.u., e abaixo desse valor passa superestimar a perda de água do café, fornecendo no final do processo teores de umidade inferiores aos obtidos experimentalmente.

5. RESUMO E CONCLUSÕES

A secagem é uma **das** mais importantes etapas no processamento do café, tanto no que **diz** respeito ao consumo de energia como na **influência** que essa operação tem sobre a qualidade final do café.

A secagem em combinação consiste numa etapa de secagem em alta temperatura, utilizando-se um secador convencional, para reduzir o teor de umidade do grão até um valor em que a secagem possa ser continuada num silo, utilizando-se ar com temperatura próxima a ambiente. No caso de café “cereja”, recomenda-se um teor de umidade de 20% b.u. para iniciar-se a secagem com ar em temperatura ambiente.

A utilização de modelos matemáticos de simulação de secagem tem auxiliado no projeto e desenvolvimento de secadores, **assim** como na análise de sistemas de secagem. Validado o modelo de simulação, por meio de testes experimentais, pode-se estudar o sistema de secagem sem a necessidade de realização de outros testes experimentais de secagem.

O presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de estudar a possibilidade de utilização do sistema de secagem em combinação para café, e adaptar um modelo de simulação de secagem utilizando-se ar em condições ambientes.

Construíram-se dois silos-secadores em alvenaria para a realização dos testes experimentais de secagem. Utilizou-se café com teor de umidade inicial na faixa de **19 a 26%** b.u., e fluxo de ar em torno de **8 m³.min⁻¹.m⁻²**. Para auxiliar a avaliação do sistema de secagem, foram realizados seis testes de secagem, sendo um deles com café descascado.

Implementaram-se dois modelos computacionais de simulação de secagem, baseados nos modelos de THOMPSON et alii (1968) e no modelo de equilíbrio de **THOMPSON (1972)**.

O manejo do sistema de secagem (período do dia e da noite em que o ventilador permanecia ligado) foi realizado de acordo com as condições de temperatura e umidade relativa do ar ambiente, visando preservar a qualidade do produto.

Visto que o teor de umidade inicial do café, a época do ano, e o manejo do ventilador foram característicos para cada teste de secagem o comportamento das curvas de secagem experimentais foram diferentes.

Com base nos resultados obtidos nos testes experimentais e nos simulados pelos programas computacionais, pode-se concluir que:

- o café apresenta redução de volume em razão da secagem, para teores de umidade acima de 18% b.u., causando uma elevação na pressão estática;

- é necessária a supervisão do sistema de secagem, com o acompanhamento do teor de umidade e da temperatura da massa de café, sendo imprescindível a instalação de um sistema de termometria no silo;
- na época da colheita e processamento do café, quando as condições de temperatura e umidade relativa do ar ambiente não são favoráveis para a secagem do café, é aconselhável ligar o ventilador somente durante o período diurno, se a massa de café estiver com temperatura abaixo da temperatura ambiente;
- o modelo de THOMPSON (1968), adaptado para secagem de café, representa melhor o comportamento do processo de secagem utilizando ar em temperatura ambiente que o modelo de equilíbrio proposto pelo mesmo autor em 1972;
- é necessário uma pessoa treinada para o manejo do sistema

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

- ARTEAGA, MS. Modelacion del proceso de secado. In: SEMINARIO DE SECADO SOLAR, 2, 1986, Anais... Cusco, Peru. Instituto General de Investigación, 1986.p. 51-56.
- BAKKER-ARKEMA, F.M.; SILVA, J.S., MWAURA, E.N. **Testing of the shivers in-bin counterflow dryer-special report.** East Lansing, Michigan, Michigan State University, 1980. 18p.
- BÁRTHOLO, G.F.; MAGALHÃES FILHO, A.A.R.; GUIMARÃES, P.T.G.; CHAUFOUN, S.M. Cuidados na colheita, no preparo e no armazenamento do café. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, **14**(162):33-44, 1989.
- BEGAZO, C.E. **Ensaio sobre degomagem e armazenamento de café (*Coffea arabica* L.)_despolpado.** Viçosa, UFV, 1964.34p. (Tese-M.S).
- BERBERT, P.A. **Secagem de café (*Coffea arabica* L.), em camada fixa com inversão de sentido de fluxo de ar.** Viçosa, MG, UFV, Impr. Univ., 1991. 83p. (Tese-MS.).
- BIONDI, P.; BISCARINI, M.; FARINA, G. Simulation of low temperature com drying in three locations in Italy. **Journal of Agricultural Engineering Research.** **40**(2): 103-111, 1988.
- BLOOME, P.D. & SHOVE, G.C. Near equilibrium simulation of shelled com drying. **Transactions of the ASAE**, **14**(4): 709-712, 1971.

- BROOKER, D.B.; BAKKER-ARKKEMA, F.W.; HALL, C.W. Drying cereal grain. Westport, Connecticut, Avi Publishing, 1974. 265p.
- CAIXETA, G. Z. T. ; LEITE, L.A.M.; OLIVEIRA, A.M. Tendência do mercado de café do Brasil. REVISTA DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, Brasília **27**(2): 173-196, 1989.
- CARVALHO, V.D. & CHALFOUN, S.M. Aspectos qualitativos do café. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, **11**(126):79-92, 1985.
- CLOUD, H.A. & MOREY, R.V. Dryaeration and in storage cooling for com drying - Research Report from the University of Minnesota. St. Paul, Minnesota, University of Minnesota, 1980. 8p.
- CORDEIRO, J.A.B. Influência da temperatura e tempo de repouso na secagem de café (*Coffea arabica* L.) em camada fixa. Viçosa, MG, UFV, Impr. Univ., 1982. 60p. (Tese-M.S.).
- DALPASQUALE, V.A. Secagem em altas temperaturas. Viçosa, MG: CENTREINAR, 1984. 29p.
- GUIMARÃES, A.C.; QUEIROZ, D.M.; DONZELES, S. Simulação de secagem de café em secador de leito **fixo**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 20, Londrina, 1991. Anais... Londrina, PR, IAPAR/SBEA, 1991.
- HARA, T. Storage factors affecting coffee quality. Indiana, Purdue University, 1972. 42p (Tese-M.S.).
- INSTITUTO BRASILEIRO DO CAFÉ. Cultura do café no Brasil: manual de recomendações. Rio de Janeiro, IBC, 1977. 312p.
- JINDAL, V.K. & SIEBENMORGEN, T.J. Simulation of low temperature rough rice drying and rewetting in shallow beds. Transactions of the ASAE. **37**(3):863-871, 1994.
- LACERDA FILHO, A.F. Avaliação de diferentes sistemas de secagem e suas influências na qualidade do café (*Coffea arabica* L.). Viçosa, MG, UFV, Impr. Univ., 1986. 136p (Tese-M.S.).
- MITTAL, G.S. & OTTEN, L. Simulation of low-temperature com **drying**. Canadian Agric. Eng. **24**(2): 111-118, 1982.

- MOREY, R.V.; CLOUD, H.A.; GUSTAFSON, R.J.; PETERSON, D.W. Evaluation of the feasibility of solar energy grain drying. Transactions of The ASAE, **22**(2):409-417, 1979.
- NAFM - NATIONAL ASSOCIATION OF FAN MANUFACTURES. Standards, definitions, terms and test codes for centrifugal, axial and propeller fan. 2. ed. Detoit, Michigan, s.ed., 1952. (Inc. Bulletin, 110).
- OLIVEROS TASCON, C.E. Simulação de secagem de café em camada fixa com inversão de sentido de fluxo de ar. Viçosa, MG, UFV, Impr. Univ., 1984. 64p. (Tese-MS.).
- OSÓRIO, A.G.S.; SILVA J.S.; DALPASQUALE, V.A.; OLIVEIRA, J.L. Secagem de café em secadores de fluxo concorrente. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, **9**(99): 18-24, 1983.
- OSÓRIO, A.G.S. Projeto e construção de um secador intermitente de fluxo concorrente e sua avaliação na secagem de café. Viçosa, MG, UFV, Impr. Univ., 1982. 57p. (Tese-MS.).
- PEREIRA, J.A.M. Equações de Page para café. Viçosa, MG. CENTREINAR, 1990. (Comunicação pessoal).
- PIERCE, R.O. & THOMPSON, T.L. Solar grain drying in the North-Central region - Simulation results. Transactions of the ASAE, **22**(1):178-187, 1979.
- PINTO, F.A.C. Projeto de um secador de fluxo contracorrentes / concorrentes e análise de seu desempenho na secagem de café (*Coffea arabica* L.). Viçosa, UFV, Impr. Univ., 1993. 72p (Tese-MS.).
- QUEIROZ, D.M.; SILVA, J.S.; MELO, E.C. Práticas de simulação de secagem em calculadoras programáveis. Viçosa, MG. CENTREINAR, 1982. 82p. (Série CENTREINAR, 3).
- QUILAQUEO, A.R.J. Previsão da deterioração do café durante a pré-secagem em barças por convecção forçada com auxílio de coletores solares. Campinas, SP, UNICAMP, 1979. 90p. (Tese-M.S.).
- RIGITANO, A.; TOSELO, A.; SOUSA, O.F.; GARRUTI, R.S.; JORGE, J.P.N. Influência do parcelamento na secagem de café. Bragantia. **23**(24): 299-322, 1964.

- SHARMA, S.C. & MUIR, W.E. Simulation of heat and mass transfer during ventilation of wheat and rapeseed bulks. *Canadian Agric. Eng.* **16(1)**:41-44, 1974.
- SHARP, J.R. Review of low temperature drying simulation models. *Journal of Agricultural Engineering Research*. **27(3)**:169-190, 1982.
- SILVA, J.S. **An** engineering-economic comparison five drying techniques for shelled com **on** Michigan farms. East Lansing, Michigan State University, 1980. 200p. (Tese-Ph.D.).
- SILVA, L.C. Desenvolvimento e avaliação de um secador de café (*Coffea arabica* L) intermitente de **fluxos** contracorrentes. Viçosa, MG, UFV, Impr. Univ., 1991. 74p (Tese-M.S.).
- SILVA, O.M.da. Café tipo exportação. *Jornal do café*, São Paulo, Atlas, 1971. 443p.
- SZMRECSANYI, T. Pequena história da agricultura **no** Brasil. São Paulo, Contexto, 1990. 102p.
- THOMPSON, T.L.; PEAR, R.M.; FOSTER, G.H. Mathematical simulation of com drying. A new model. *Transactions of the ASAE*, **12(5)**:582-6, 1968.
- THOMPSON, T.L. Temporary storage of high-moisture shelled com using continuous aeration. *Transactions of the ASAE*, **15(2)**:333-337, 1972.
- VILELA, E. R. Secagem de café em terreiro e silo com energia solar. Campinas, SP, UNICAMP, 1977.
- WILLUNSEN, M.J. & DUTT, A.K. Café, cacau e crescimento econômico no Brasil. *Revista de Economia Política*, **43**, **2(3)**:49-67, 1991.

APÊNDICES

APÊNDICE A

QUADRO 1A - Pressão Estática Média no “Plenum” e em Diversas Alturas da Camada de Café Durante o Teste 1 Realizado no Período de 27 de Maio a 7 de Julho de 1993

DATA	Altura no Silo							
	Plenum	50 cm	70 cm	90 cm	120 cm	140 cm	160 cm	180 cm
28/05	12,58	10,50	9,00	7,25	6,00	4,67	3,00	2,17
29/05	12,83	10,50	9,50	7,25	5,50	4,50	3,25	1,83
31/05	12,42	9,17	9,00	5,75	5,50	4,50	1,75	2,17
01/06	13,58	10,83	9,50	7,75	6,00	4,83	3,50	2,33
02/06	13,92	11,00	9,50	7,75	6,00	5,00	4,00	2,50
03/06	13,92	10,83	9,50	7,75	6,00	4,83	4,00	2,50
04/06	13,42	10,50	9,00	7,00	5,50	4,83	3,50	1,67
05/06	13,42	10,83	9,50	7,50	6,00	5,17	3,50	2,17
07/06	13,00	10,33	9,00	7,25	6,00	4,50	3,50	2,00
08/06	12,75	10,17	9,00	7,25	5,50	4,50	3,50	2,00
09/06	13,00	10,17	9,00	7,25	5,50	4,33	3,25	2,00
10/06	13,50	10,33	9,00	7,25	5,50	4,17	3,25	1,83
11/06	14,17	10,50	9,50	7,25	3,50	4,33	3,25	1,83
12/06	14,67	11,00	9,50	7,75	5,00	4,50	3,50	1,83
13/06	14,42	10,83	9,50	7,25	5,50	4,50	3,25	2,00
14/06	14,17	10,67	9,50	7,75	6,00	4,50	3,50	2,00
15/06	14,00	10,83	9,50	7,50	6,00	4,50	3,25	2,00
16/02	13,42	10,33	9,00	7,25	5,50	4,17	3,00	1,67
17/02	13,33	10,33	9,00	7,25	5,50	4,50	3,00	1,67
18/06	13,33	10,33	9,00	7,25	5,50	4,33	3,00	1,83
19/06	13,33	10,33	9,00	7,50	6,00	4,50	3,00	1,83
20/06	13,50	10,67	9,50	7,50	6,00	4,50	3,25	2,17
21/06	13,75	10,67	9,50	7,50	5,50	4,50	3,25	2,17
22/06	13,76	10,83	9,50	7,75	6,00	4,67	3,00	2,17
23/06	13,67	10,50	9,00	7,25	5,50	4,33	3,00	1,50
24/06	13,42	10,33	9,00	7,25	5,50	4,33	3,00	1,50
25/06	13,75	10,50	9,50	7,25	5,50	4,33	3,00	1,67
27/06	13,75	10,50	9,50	7,25	5,50	4,33	3,00	1,67
30/06	13,42	10,33	9,00	7,25	5,50	4,33	3,00	1,50
MÉDIA	13.523	10.506	9.259	7.336	5.603	4.517	3,216	1.937

QUADRO 2A - Pressão Estática Média no “Plenum” e em Diversas Alturas da Camada de Café Durante o Teste 3 Realizado no Período de 25 de Junho a 24 de Agosto de 1994

DATA	Altura do Silo							
	Plenum	50 cm	70 cm	90 cm	120 cm	140 cm	160 cm	180 cm
27/06	13,42	11,00	9,50	7,75	6,00	4,83	3,50	2,50
28/06	13,58	11,00	9,25	8,00	6,50	5,17	3,50	2,75
29/06	13,92	10,83	9,50	7,75	6,00	5,00	3,50	2,17
30/06	14,00	11,17	10,00	7,75	6,00	5,00	3,50	2,50
01/07	14,00	11,00	10,00	7,75	6,00	4,83	3,75	2,33
02/07	13,67	11,17	9,75	7,75	6,00	5,00	3,50	2,33
03/07	14,08	11,33	9,75	7,50	6,00	5,00	4,00	2,50
04/07	14,33	11,33	9,75	7,50	6,00	5,00	3,50	2,67
05/07	14,67	11,50	9,75	7,75	6,00	5,00	3,50	2,00
06/07	14,50	10,67	10,00	7,00	5,50	4,33	3,25	2,00
07/07	14,67	11,33	10,00	7,50	6,00	5,00	3,25	2,00
08/07	15,00	11,33	10,00	7,75	5,50	5,00	3,25	2,00
11/07	14,17	11,00	9,50	7,75	6,00	5,00	3,75	2,33
12/07	14,42	11,00	9,50	7,25	6,00	5,00	4,00	2,50
13/07	14,83	11,17	9,50	7,25	6,00	5,00	3,75	2,50
15/07	15,00	11,17	9,75	7,75	6,00	5,00	3,75	2,33
18/07	15,08	11,33	10,00	8,00	5,50	5,00	3,50	2,00
20/07	16,08	12,50	10,75	8,75	6,50	5,17	3,75	2,33
23/07	16,75	12,83	10,75	9,00	7,00	5,33	4,00	2,50
27/07	16,42	12,33	10,75	9,25	7,00	5,67	4,00	2,50
01/08	15,83	12,33	10,75	8,00	6,00	5,00	3,75	2,17
10/08	15,83	12,33	10,75	8,00	6,00	5,00	3,75	2,17
15/08	16,25	11,33	10,00	8,00	6,00	5,00	3,50	2,00
18/08	15,25	11,50	10,00	8,50	6,00	4,83	3,50	2,00
MÉDIA	14,823	11,438	9,969	7,885	6,063	5,007	3,625	2,295

QUADRO 3A - Pressão Estática Média no “Plenum” e em Diversas **Alturas** da Camada de **Café** Durante o Teste 4 Realizado no Período de 27 de Maio a 11 de Junho de 1993

DATA	Altura no Silo						
	Plenum	60 cm	80 cm	120 cm	140 cm	160 cm	180 cm
29/05	12,07	9,00	7,50	5,00	3,50	2,50	1,17
31/05	12,20	10,00	8,00	5,50	3,75	2,25	1,33
01/06	12,57	10,00	8,00	5,50	3,75	2,00	0,83
02/06	12,83	10,50	8,25	5,50	3,75	2,00	0,83
03/06	12,70	10,00	8,25	5,50	3,75	2,00	0,83
04/06	12,07	10,00	8,25	5,50	4,00	2,25	0,83
05/06	12,80	10,50	8,75	6,00	4,50	2,25	1,00
07/06	13,70	12,00	9,75	7,00	5,25	3,00	1,00
08/06	13,80	12,00	10,00	7,00	5,25	3,00	1,17
09/06	14,20	12,50	10,00	7,50	5,50	3,50	1,50
10/06	14,70	12,50	10,50	7,50	5,75	3,50	1,50
MÉDIA	13,058	10,818	8,841	6,136	4,432	2,568	1,091

APÊNDICE B

QUADRO 1B - Temperaturas Médias Ambientas e Medidas em Diversas Alturas na Massa de **Café** Durante o Teste 1, Realizado no Período de 27 de Maio a 7 de Julho de 1993. Obtidas às 9:00 e 12:00 horas

DATA	9:00 hs					12:00 hs				
	Amb *	0 cm	50 cm	100 cm	150 cm	Amb	0 cm	50 cm	100 cm	150 cm
29/05	18,7	20,3	20,4	21,5	21,0	19,6	20,3	20,2	18,4	18,5
31/05	17,0	18,3	18,4	18,0	17,7	18,7	20,2	20,5	19,9	19,4
01/06	17,5	19,0	19,5	20,4	20,6	19,2	19,6	19,6	19,4	19,0
02/06	17,4	18,7	19,7	19,9	19,9	20,7	20,0	19,6	19,3	18,8
03/06	18,0	18,4	18,8	18,8	18,8		20,9	19,5	19,0	19,4
04/06	17,6	19,4	19,3	19,1	19,0	20,6	20,1	19,7	19,0	18,6
05/06	19,8	20,2	20,8	20,4	19,7	19,3	20,0	19,6	19,4	19,0
07/06	19,0	20,2	20,3	20,4	20,1	21,7	20,9	20,9	20,2	19,7
08/06	16,3	17,9	18,9	19,1	19,3	20,8	20,6	20,8	20,3	20,0
09/06	20,1	19,6	19,7	19,6	19,5	21,8	20,5	20,1	19,7	19,7
10/06	20,9	20,1	20,4	19,3	19,0	23,8	22,5	22,4	21,6	21,5
11/06	18,3	19,7	20,0	20,9	20,8	18,7	21,7	22,1	22,6	22,5
12/06	18,6	19,4	19,9	20,3	20,3	19,1	19,9	20,4	20,5	20,7
13/06	17,6	18,5	18,4	18,4	18,4	19,9	20,3	19,8	19,5	19,6
14/06	17,8	18,1	17,5	16,1	14,7	23,4	21,6	20,6	18,5	20,3
15/06	21,4	20,9	20,7	20,1	19,5	25,0	25,1	19,9	19,5	19,8
16/06	16,4	16,3	16,4	16,1	15,8	19,7	17,7	15,4	16,5	16,5
17/06	17,1	16,3	16,8	16,6	16,8	19,1	18,4	17,3	16,6	16,7
18/06	17,2	16,1	16,4	16,6	16,8	20,0	18,2	16,0	16,2	16,1
19/06	17,4	17,5	18,1	18,3	18,3	18,2	18,8	19,0	19,2	19,4
20/06	17,4	17,4	17,0	17,2	17,5	18,6	18,2	17,7	17,5	17,5
21/06	16,9	16,9	16,2	16,4	16,5	19,1	17,5	17,1	17,1	17,0
22/06	15,3	16,2	16,1	16,3	16,0	17,4	17,5	16,3	16,3	16,4
23/06	11,1	11,5	10,8	10,6	10,4	19,4	17,6	15,8	15,8	15,8
24/06	14,7	14,0	13,2	12,2	11,1	16,7	16,5	14,4	14,6	14,5
25/06	12,2	12,4	11,5	10,6	9,6	21,9	18,7	15,5	15,5	15,4
26/06	12,8	12,5	11,9	11,3	10,7	21,3	18,6	14,6	14,2	14,4
27/06	12,9	12,8	12,1	10,2	11,5	21,2	19,6	17,7	17,8	17,8
28/06						23,4	22,8	18,5	18,1	18,2
29/06	17,5	16,0	15,5	14,9	14,4	22,9	19,4	15,4	15,5	16,0
30/06	11,7	12,9	13,0	12,5	12,3	21,9	19,2	14,6	14,6	14,9
01/07	18,1	16,3	16,1	15,7	15,4	24,8	22,4	18,2	17,9	18,3
02/07						18,7	20,3	21,8	21,2	20,6
05/07	13,8	14,5	14,6	14,9	15,0	23,8	20,8	16,9	17,2	17,7
06/07	19,2	17,3	17,0	16,3	15,4	23,3	20,9	16,7	16,7	17,3
07/07	11,9	12,8	12,8	12,7	12,5	21,4	18,8	15,4	15,7	16,2

*Amb: Temperatura ambiente

QUADRO 2B - Temperaturas Médias Ambientais e Medidas em Diversas Alturas na Massa de **Café** Durante o Teste 3 Realizado no Período de 25 de Junho a 24 de agosto de 1994, Obtidas às 9:00 e 15:00 horas

DATA	9:00 hs					15:00 hs				
	Amb	0 cm	50 cm	100 cm	150 cm	Amb	0 cm	50 cm	100 cm	150 cm
27/06	18,0	17,1	15,1	14,3	14,8					
28/06	15,0	17,7	17,2	16,2	16,1					
29/06	18,0	15,5	14,8	14,0	14,1					
30/06	18,0	16,8	16,3	15,2	14,4					
01/07	19,0	17,6	16,8	15,5	14,8					
02/07	19,0	19,1	18,7	18,6	19,2					
03/07	20,0	18,2	18,0	16,9	16,3					
04/07	19,0	17,7	17,9	18,1	17,4					
05/07	20,0	20,1	20,3	20,1	20,1					
06/07	19,0	15,3	17,8	17,2	17,1	23,0	22,1	20,4	20,1	20,7
07/07	19,0	18,6	18,8	18,7	18,7	23,0	23,5	20,9	20,7	21,4
08/07	20,0	19,8	19,9	19,0	19,1	24,0	22,5	20,6	21,1	21,4
11/07	18,0	16,6	15,5	14,6	14,6	20,0	19,3	17,8	16,7	16,7
12/07	19,0	17,0	16,5	16,0	15,7	20,0	17,4	18,3	17,5	17,6
13/07	21,0	17,1	17,3	17,1	17,2	22,0	19,6	18,7	18,6	18,9
14/07	23,0	17,7	17,8	17,7	18,1	21,0	20,6	19,5	19,2	19,2
15/07	18,0	16,3	15,4	14,1	13,4	20,0	21,8	19,7	19,3	20,0
16/07	20,0	19,8	19,0	18,5	18,4					
18/07	19,0	18,0	18,0	17,2	16,7	20,5	21,1	20,5	20,6	20,9
19/07	20,5	18,5	18,0	16,9	16,2	20,5	22,6	20,5	20,3	20,2
20/07	21,0	20,4	20,1	19,7	20,1	24,0	21,1	19,1	19,4	19,9
21/07	18,0	18,5	18,2	17,4	16,9	24,0	20,0	18,3	19,2	19,6
22/07	20,5	20,3	20,8	20,8	20,9	24,0	23,6	21,1	20,4	21,4
25/07	19,0	20,1	20,1	19,6	19,7	22,0	21,0	18,9	18,8	18,8
26/07	19,0	18,4	19,1	19,4	19,7	25,0	25,8	22,2	19,7	20,1
27/07	14,7	15,9	15,7	14,9	14,5	25,0	24,7	23,5	22,4	21,1
28/07	20,5	19,9	20,4	20,5	20,5	24,0	23,4	20,5	20,2	20,4
29/07	16,0	16,2	15,6	14,6	13,9	25,0	24,8	22,6	21,7	20,7
01/08	15,0	15,4	15,0	14,1	13,8	24,5	25,1	19,6	17,7	19,6
02/08	19,5	18,4	18,8	18,6	18,4	25,0	25,4	20,7	19,3	20,5
03/08	21,0	20,6	20,8	20,5	20,1	25,5	24,0	20,7	20,8	21,3
04/08	17,0	16,4	17,1	18,0	19,2	20,0	19,8	18,6	16,7	15,4
05/08	16,5	16,1	16,4	16,0	16,2	21,0	20,4	19,7	18,3	17,0
06/08	16,5	16,3	17,2	17,6	17,5	20,0	18,9	17,8	17,2	16,5
07/08	20,0	17,6	17,4	17,7	17,3	14,0	15,6	15,7	15,7	17,6
08/08	17,0	16,1	16,3	15,8	16,6	22,0	21,7	21,9	20,7	19,3

Continua..

QUADRO 2B, Cont.

DATA	9:00 hs					15:00 hs				
	Amb	0 cm	50 cm	100 cm	150 cm	Amb	0 cm	50 cm	100 cm	150 cm
09/08	20,0	17,8	17,0	16,9	17,4	24,0	23,3	21,7	20,4	19,9
10/08	19,0	18,1	18,5	18,9	19,6	22,0	23,4	23,0	23,1	21,8
11/08	21,0	20,1	19,7	19,3	19,4	25,0	23,6	22,6	22,2	21,7
12/08	22,0	19,6	20,4	20,9	21,1	21,0	20,3	20,6	21,2	21,4
13/08	21,0	19,9	19,5	20,1	20,4					
14/08	19,0	18,9	20,3	20,8	21,1	21,0	22,1	23,1	22,3	21,3
16/08	21,0	19,6	18,9	18,7	19,5	23,0	24,1	25,2	24,2	23,2
17/08	19,0	18,9	20,2	21,0	21,6	23,0	23,5	22,1	21,6	21,9
18/08	19,5	20,0	21,6	21,9	22,1	23,5	23,0	22,4	22,0	21,5
19/08	19,0	19,3	21,1	22,2	22,3	25,5	24,3	23,1	22,3	22,1
20/08	19,5	19,6	21,5	22,8	22,7	20,0	22,1	22,9	23,3	23,7
22/08	18,5	18,7	20,6	20,9	21,2	24,0	25,6	25,2	24,0	23,1
23/08	22,5	21,5	22,6	24,0	24,2	27,5	29,2	28,5	26,0	26,2
24/08	20,5	21,7	23,0	24,1	24,5					

QUADRO 3B - Temperaturas Médias Ambientais e Medidas em Diversas Alturas na Massa de **Café** Durante o Teste 5 Realizado no Período de 11 de Junho a 22 de Junho de 1993, Obtidas às 9:00 e 12:00 horas

DATA	9:00 hs					12:00 hs				
	Amb	0 cm	50 cm	100 cm	150 c	Amb	0 cm	50 cm	10 cm	150 cm
12/06	19,1	19,8	20,3	20,6	20,7	20,3	21,0	21,3	21,1	21,2
13/06	17,5	18,1	18,0	18,3	18,2	19,9	20,2	19,8	19,8	19,6
14/06	16,8	16,6	14,8	15,6	14,5	23,8	21,0	19,1	19,3	17,9
15/06	20,6	20,6	19,8	20,3	19,8	26,3	22,6	20,6	20,2	18,7
16/06	16,1	16,3	15,6	16,1	15,7	19,1	16,4	15,9	15,9	15,2
17/06	16,9	16,8	16,6	16,6	16,6	18,2	16,8	16,1	16,2	15,4
18/06	16,4	15,3	14,6	14,5	15,1	18,1	15,9	15,1	15,3	14,2
19/06	17,1	18,2	18,2	18,8	18,7	18,0	18,3	18,4	18,5	18,3
20/06	17,5	17,1	16,3	16,5	16,4	18,7	17,5	16,8	17,2	16,7
21/06	16,8	16,5	15,7	15,9	16,1	18,1	16,5	15,7	12,6	16,1
22/06	15,2	16,4	16,2	15,2	15,0	17,7	16,0	16,0	15,6	15,1

QUADRO 4B - Temperaturas Médias Ambientais e Medidas em Diversas Alturas na Massa de Café Descascado Durante o Teste 6 Realizado no Período de 25 de Junho a 24 de Agosto de 1994, Obtidas às 9:00 e 15:00 horas

DATA	9:00 hs					15:00 hs				
	Amb	0 cm	50 cm	100 cm	150 cm	Amb	0 cm	50 cm	100 cm	150 cm
28/06	15,0	15,1	14,3	14,0	13,8					
29/06	18,0	13,5	12,4	11,5	9,2					
30/06	18,0	14,5	12,7	14,3	11,8					
01/07		14,5	12,9	14,0	10,7					
02/07	19,0	19,1	19,8	19,1	19,4					
03/07	20,0	15,6		13,6	13,7					
04/07	19,0	14,2								
05/07	20,0	23,2								
06/07	20,0	18,2	17,1	15,7	15,4	22,0	21,3	19,5	18,3	17,6
07/07	19,0	18,5	17,6	17,0	16,6	23,0	23,3	21,0	19,2	18,6
08/07	20,0	19,2	18,5	17,5	16,8	25,0	22,8	20,9	19,3	19,5
11/07	16,5	14,5	13,5	12,9	12,6	18,0	18,2	16,6	14,6	14,2
12/07	19,0	17,1	15,8	15,0	14,4	20,0	18,5	17,8	16,5	15,4
13/07	19,0	17,4	16,8	16,1	15,8	22,0	19,8	18,9	17,8	17,1
14/07	21,0	17,9	17,3	16,9	16,6	21,0	20,7	20,1	18,1	17,2
15/07	16,0	14,5	13,8	12,6	11,7	22,0	21,1	20,5	18,3	18,1
16/07	21,5	19,5	17,8	17,0	17,5					
18/07	19,0	17,7	17,1	16,2	15,1	20,5	21,1	21,3	20,0	19,0
19/07	20,5	17,5	16,5	15,6	14,1	21,0	23,2	21,2	19,1	18,6
20/07	21,0	20,1	19,1	18,7	18,3	24,0	23,0	21,0	19,6	19,2
21/07	20,0	18,2	17,6	16,7	15,9	24,0	22,1	20,5	19,7	19,1
22/07	20,0	19,5	19,4	19,5	19,1	24,0	22,6	21,0	19,8	19,3
25/07	19,0	19,3	19,9	19,7	19,0	22,0	24,1	21,6	20,1	20,0
26/07	19,0	19,7	20,3	20,1	20,6	25,0	23,5	20,4	18,5	18,6
27/07	14,7	16,3	15,5	14,9	14,4	25,0	23,8	21,6	20,3	20,6
28/07	20,5	19,8	19,8	19,9	20,1	24,0	23,8	21,2	19,6	19,6
29/07	16,0	16,1	15,3	14,5	14,1	25,0	23,8	21,1	19,4	19,9
01/08	17,0	15,7	15,2	14,5	14,4	24,0	23,1	20,1	18,0	18,2
02/08	20,0	18,6	18,4	18,4	18,3	25,0	23,0	20,7	19,4	19,7
03/08	21,0	20,2	20,7	20,5	20,2	25,5	23,8	21,8	20,7	20,7
04/08	17,5	16,8	17,6	18,1	19,4	21,0	19,8	17,8	16,2	15,5
05/08	17,0	16,2	17,0	16,5	16,4	22,0	19,4	17,8	16,3	15,7
06/08	17,0	16,9	18,1	17,9	17,9	20,0	19,7	18,2	17,1	16,7
07/08	19,0	17,6	17,6	17,4	17,1	16,0	16,1	18,0	18,1	17,0
08/08	17,0	16,4	17,5	17,0	17,2	22,0	21,8	21,6	19,6	18,2

Continua...

QUADRO 4B, Cont.

DATA	9:00 hs					15:00 hs				
	Amb	0 cm	50 cm	100 cm	150 cm	Amb	0 cm	50 cm	100 cm	150 cm
09/08	20,0	17,7	17,9	18,3	17,8	24,0	23,2	20,9	19,2	18,9
10/08	19,0	17,8	19,5	19,3	19,3	23,0	23,8	22,4	21,2	20,8
11/08	21,5	19,8	20,0	20,5	19,7	25,0	23,3	22,2	21,1	20,7
12/08	21,0	19,5	20,5	21,8	21,6	21,0	20,3	20,8	21,1	20,9
13/08	22,0	19,7	20,0	20,1	20,3					
14/08	19,0	19,1	21,0	21,5	21,4	22,0	23,3	23,3	21,7	20,6
16/08	21,0	19,2	19,4	20,7	20,4	23,5	24,9	24,9	23,6	22,6
17/08	19,0	18,9	21,3	22,2	21,7	23,0	22,1	21,3	21,6	21,7
18/08	19,5	19,6	21,5	21,7	21,6	23,5	22,9	22,3	21,6	21,6
19/08	19,0	19,3	21,9	22,5	22,2	25,5	24,3	22,7	21,3	21,0
20/08	19,5	19,8	22,3	22,7	22,2	20,0	22,1	23,5	23,1	22,6
22/08	18,5	18,6	20,4	21,0	21,2	24,0	25,7	24,6	22,7	21,6
23/08	22,5	21,2	22,7	22,1	23,0	27,5	29,3	27,0	24,5	23,6
24/08	20,5	21,3	23,7	24,8	24,3					