

**UNIOESTE**  
**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ**  
**CAMPUS DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**  
**NÍVEL MESTRADO**

**MARCELO GRECO**

**AVALIAÇÃO DE DIFERENTES COMBINAÇÕES DE TEMPO DE  
REVOLVIMENTO, EM SECADOR DE CAMADA FIXA PARA CAFÉ**

**MARECHAL CÂNDIDO RONDON**  
**SETEMBRO DE 2006**

MARCELO GRECO

**AVALIAÇÃO DE DIFERENTES COMBINAÇÕES DE TEMPO DE  
REVOLVIMENTO EM SECADOR DE CAMADA FIXA PARA CAFÉ**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Nível Mestrado, para obtenção do título de Mestre.

ORIENTADOR: PROF. DR. ALESSANDRO  
TORRES CAMPOS

MARECHAL CÂNDIDO RONDON

SETEMBRO DE 2006

*A minha esposa Silvia*  
*A meu filho Marcelo Henrique*  
*A minha irmã Vera*

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE *Campus* de Marechal Cândido Rondon, pela oportunidade de realização do curso.

Ao Professor Dr. Alessandro Torres Campos, pela orientação, pela paciência e pelo estímulo.

À minha esposa Silvia, pela paciência, pelo carinho, pelas sugestões e correções de erros de português.

À minha irmã Vera, pela paciência, pela amizade, por ser uma grande colega durante o curso e pela ajuda nas horas que mais precisei.

Ao colega Roberto Natal Dal Molin, pela amizade, pela força e ajuda na realização do projeto.

Aos proprietários do café, Srs. Penacho, Marcio e Helio, por disponibilizar o produto para realização do trabalho.

A todos os colegas que de alguma forma contribuíram para realização do trabalho, em especial Jeferson, Melissa e Valdemir.

A secretária Noili, pela ajuda e amizade.

A todo o corpo docente, pela paciência e ensinamentos.

## RESUMO

O presente trabalho objetivou avaliar a eficiência energética na secagem de café (*Coffea arabica*, L.), com diferentes combinações de tempo de revolvimento, em secador de camada fixa. O experimento foi desenvolvido no mês de julho de 2004, no município de Jesuítas-PR. O secador foi composto por: câmara de secagem com capacidade para 4,5m<sup>3</sup> de grãos, câmara *plenum* com volume 2,9m<sup>3</sup>, ventilador com vazão de 473,2m<sup>3</sup> mim<sup>-1</sup>, dois motores com potência de 2cv (um para o acionamento do ventilador e outro para acionamento do sistema de revolvimento) e sistema mecânico com pás, que mantinha o produto em revolvimento rotatório horizontal. Os teores de umidade dos grãos foram obtidos pelo método padrão de estufa 105±1°C por 24 horas. A coleta de amostras foi realizada com um coletor segmentado em quatro diferentes pontos da câmara de secagem a cada duas horas. A temperatura e umidade do ar foram obtidas mediante o uso de termohigrômetro digital instalado em abrigo meteorológico. A temperatura do ar de secagem foi de 75°C. A ventilação e secagem mantiveram-se contínuas no teste, tendo como tratamentos os intervalos de tempo e revolvimento de: uma hora; duas horas; três horas e revolvimento contínuo. Observou-se que o revolvimento com intervalos de três horas promoveu o menor consumo de energia elétrica (17,11kWh) e de lenha (208,25kg). A média da eficiência energética entre os tratamentos foi de 12,30MJ kg<sup>-1</sup>. Para o modelo de secador utilizado recomenda-se a utilização do sistema de revolvimento com intervalos de três horas e secagem contínuas, uma vez que não foram observadas diferenças na qualidade final do produto em análise sensorial.

**Palavras-Chave:** *Coffea arabica*, L, energia, secagem, instalações para o preparo.

## ABSTRACT

This assignment aimed to value the energetic efficiency on coffee drying (*Coffea Arabica*, L.), with different combinations of time revolvment on a fix layer dryer. The experiment was developed on July, 2004 in Jesuitas city, Paraná. The dryer was compound of: a drying chamber with a capacity to 4,5 m<sup>3</sup> of grains, chamber *plenum* with volum of 2,9 m<sup>3</sup>, fan with leakage of 473,2 m<sup>3</sup> mim<sup>-1</sup>, two motors with potency of 2 cv (one for the drive of the fan and another one for the drive of the revolvment system) and mechanical system with shovels, that kept the product in horizontal rotatory revolvment. The grain's contents of damp were gotten by the standard method of greenhouse 105±1°C for 24 hours. The sample's collection was carried out with a collector segmented on four different points of the drying chamber at each two hours. The temperature and the air's damp were gotten through digital thermhigrometer, installed in a meteorological shelter. The drying air's temperature was 75°C. The ventilation and the drying kept it continuous during the test, having as treatment the time's interval and revolvment of one hour, two hours, three hours and continuous revolvment. It was observed the revolvment with intervals of three hours promoted the smaller energy electric (17,11 kWh) and firewood consume (208,25 kg). The average of the energetic efficiency between the treatments was 12,30 MJ kg<sup>-1</sup>. for the model of dryers used it is recommended the utilisation of the revolvment system with intervals of three hours and continuous dryer, considering that had not been difference in the final quality of the product in sensorial analysis.

**Key-Words:** *Coffea arabica*, L, energy, drying, coffee preparing buildings.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Poder calorífico inferior da lenha seca.....	24
Tabela 2.	Poder calorífico da lenha em função do conteúdo de umidade.....	25
Tabela 3.	Parâmetros e especificações do secador requerido para avaliação do desempenho.....	30
Tabela 4.	Classificação do tipo (quantidade de defeito) em grãos de café, para amostra de 300g.....	32
Tabela 5.	Temperatura média do ar na massa de grãos e densidade média do fluxo de ar nos tratamentos.....	52
Tabela 6.	Valores médios de massa do produto inicial e final, diferença de massa e perda de água por hora, nos tratamentos.....	52
Tabela 7.	Resultado da análise sensorial e classificação de café para os quatros tratamentos.....	53
Tabela 8.	Consumo médio de energia elétrica; consumo do sistema de revolvimento e do ventilador; tempo de duração do revolvimento; tempo de funcionamento do ventilador e média do consumo total.....	56
Tabela 9.	Consumo total de combustível entre os tratamento e média do consumo total de lenha.....	57
Tabela 10.	Capacidade de secagem de produto úmido e de produto seco.....	59
Tabela 11.	Eficiência energética em MJ kg <sup>-1</sup> de água evaporada e eficiência energética em (%) entre os tratamentos.....	60

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Secador mecânico de camada fixa para café, com sistema adaptado de revolvimento. (a) vista externa; (b) câmara de secagem.....	33
Figura 2.	Duto de ligação e ventilador.....	34
Figura 3.	Fornalha de fogo indireto.....	35
Figura 4.	Esquema mostrando os locais de amostragem de grão de café dentro da câmara de secagem.....	36
Figura 5.	Esquema mostrando os locais de observação de temperatura dentro da câmara de secagem, no <i>plenum</i> e no duto de ligação.....	38
Figura 6.	Secador com capacidade máxima de carga.....	42
Figura 7.	Esquema do sorteio dos tratamentos nos blocos.....	43
Figura 8.	Representação gráfica da média diária da temperatura do ar e umidade do ar ambiente e representação do período de realização do experimento para cada bloco.....	44
Figura 9.	Curvas de secagem do tratamento SVRC; repetição 1 (R1), repetição 2 (R2), repetição 3 (R3) e repetição 4 (R4) .....	46
Figura 10.	Curvas de secagem do tratamento SVCR1; repetição 1 (R1), repetição 2 (R2), repetição 3 (R3) e repetição 4 (R4) .....	46
Figura 11.	Curvas de secagem do tratamento SVCR2; repetição 1 (R1), repetição 2 (R2), repetição 3 (R3) e repetição 4 (R4) .....	47

Figura 12.	Curvas de secagem do tratamento SVCR3; repetição 1 (R1), repetição 2 (R2), repetição 3 (R3) e repetição 4 (R4) .....	47
Figura 13.	Curvas médias de secagem do café em secador de camada fixa	48
Figura 14.	Gradiente de teor de umidade formado no tratamento SVRC nos pontos A, B, C e D em relação às alturas de 0,1; 0,2; 0,3 e 0,4 m.....	49
Figura 15	Gradiente de teor de umidade formado no tratamento SVCR1 nos pontos A, B, C e D em relação às alturas de 0,1; 0,2; 0,3 e 0,4 m.....	50
Figura 16.	Gradiente de teor de umidade formado no tratamento SVCR2 nos pontos A, B, C e D em relação às alturas de 0,1; 0,2; 0,3 e 0,4 m.....	50
Figura 17..	Gradiente de teor de umidade formado no tratamento SVCR3 nos pontos A, B, C e D em relação às alturas de 0,1; 0,2; 0,3 e 0,4 m.....	51
Figura 18.	Diferença da média de temperatura entre o duto de ligação, <i>plenum</i> e ar de secagem de todos os tratamentos.....	55
Figura 19.	Relação entre a quantidade de combustível consumida na forma de lenha e a quantidade de combustível consumida na forma de energia elétrica.....	58

## SUMÁRIO

<b>RESUMO.....</b>	<b>05</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>06</b>
<b>LISTA TABELAS.....</b>	<b>07</b>
<b>LISTA FIGURAS.....</b>	<b>08</b>
<b>SUMÁRIO.....</b>	<b>10</b>
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
<b>2 REVISÃO DE BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>15</b>
2.1 O CAFÉ.....	15
2.1.1 Café no Brasil.....	15
2.1.2 Café no Paraná.....	16
2.2 PROCESSO DE SECAGEM.....	17
2.3 MÉTODOS DE SECAGEM.....	18
2.4 SECADORES.....	19
2.4.1 A Temperatura.....	21
2.4.2 O Teor de Umidade dos Grãos.....	21
2.4.3 Combustíveis e Energia.....	23
2.4.4 Sistemas de Revolvimento.....	26
2.4.5 Avaliação de Secadores.....	28

<b>3 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>31</b>
3.1 AVALIAÇÃO DE QUALIDADE DO CAFÉ.....	31
3.2 O SECADOR.....	32
3.2.1 Câmara de Secagem.....	32
3.2.2 Câmara <i>Plenum</i> .....	33
3.2.3 Duto de Ligação.....	34
3.2.4 Ventilador.....	34
3.2.5 Forno de Fogo Indireto.....	35
3.3 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO SECADOR.....	35
3.3.1 Teor de Umidade.....	36
3.3.2 Determinação da Massa do Produto .....	37
3.3.3 Temperatura do Ar na Massa de grãos.....	37
3.3.4 Temperatura de Secagem, Temperatura do Ar Ambiente e Teor de Umidade do Ar Ambiente.....	37
3.3.5 Consumo de Energia do Ventilador e Sistema de Revolvimento.....	38
3.3.6 Energia proveniente do Combustível .....	39
3.3.7 Capacidade de Secagem, Densidade do Fluxo de Ar e Tempo de Secagem.	40
3.3.8 Eficiência Energética de Secagem.....	40
3.4 SISTEMAS DE OPERAÇÃO COM O SECADOR.....	41
3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	43
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>44</b>
4.1 TEMPERATURA E UMIDADE RELATIVA DO AR AMBIENTE.....	44
4.2 PARÂMETROS RELATIVOS AOS GRÃOS.....	45

4.2.1 Porcentagem de Impurezas.....	45
4.2.2 Teor de Umidade.....	45
4.2.3 Gradiente de Teor de Umidade.....	48
4.2.4 Temperatura e Fluxo de Ar na Massa de Grãos.....	51
4.2.5 Massa do Produto.....	52
4.2.6 Qualidade do Produto.....	53
<b>4.3 PARÂMETROS RELATIVOS A TEMPERATURA DO AR NO SECADOR.....</b>	<b>54</b>
4.3.1 Temperatura do Ar no Secador.....	54
<b>4.4 USO DE ENERGIA.....</b>	<b>55</b>
4.4.1 Consumo de Energia Elétrica do Ventilador e Revolvedor.....	55
4.4.2 Tipo de Combustível e Quantidade Utilizada.....	57
<b>4.5 DESEMPENHO DO SECADOR.....</b>	<b>59</b>
4.5.1 Capacidade de Secagem.....	59
4.5.2 Eficiência Energética .....	59
<b>5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>62</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>63</b>
<b>APÊNDICE.....</b>	<b>68</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento da indústria cafeeira no Brasil, deu-se no início do século XVIII, sendo cultivado em todas as regiões do país, porém, assumiu grande importância comercial apenas no final do século XX, com a alta dos preços causada pela crise instaurada no grande produtor da época, a colônia francesa do Haiti. Assim, passou a ser, junto com o açúcar e o algodão, um dos principais itens de exportação do Brasil (FURTADO, 1991).

Até o início do século XXI, o café era o principal produto de exportação do Brasil, porém, tem perdido espaço no mercado internacional. O café brasileiro já chegou a representar 80% da produção mundial na década de 20, mas em 2002 ficou restrito a 37%, mantendo ainda o título de maior exportador do produto (CONAB, 2002).

Para obtenção de um café de alta qualidade é necessário o emprego de técnicas adequadas de produção, desde o plantio até a colheita e, a estas, somar práticas de processamento que possam preservar a sua qualidade inicial. No processamento pós-colheita, a secagem é uma das etapas mais importantes, porque, se for conduzida indevidamente, poderá acarretar grandes prejuízos aos cafeicultores (PINTO FILHO, 1994).

A secagem mecânica mostra-se mais eficiente que a secagem em terreiros, possibilitando o desenvolvimento de inúmeros modelos de secadores e/ou adaptações de modelos pré-existentes. A análise da eficiência desses modelos torna-se de extrema importância, pois permite avanços no desenvolvimento de novos protótipos (LACERDA FILHO et al, 1982; CAMPOS, 1998).

Os secadores mecânicos requerem motores com grande potência e a maior parte da energia é consumida na forma de calor. A avaliação do desempenho de secadores depende de fatores como a temperatura ambiente, a umidade relativa do ar, a temperatura do ar e o consumo de energia (combustíveis líquidos, gasosos ou eletricidade) (BARKKER-ARKEMA et al., 1978).

Para que a avaliação do secador seja eficiente, faz-se necessária a obtenção de medidas precisas dos grãos, do ar, dos parâmetros de secagem e das fontes de energia utilizadas na ventilação e movimentação dos grãos (NELLIST & BRUCE, 1992).

O processo mecânico é realizado em uma câmara de secagem, onde se utilizam ventiladores para distribuir o ar, que é aquecido pela queima de lenha ou de combustíveis fósseis.

Visando economia de energia consumida no processo de secagem e buscando atingir a qualidade e umidade desejável do produto, torna-se interessante avaliar a possibilidade de redução no tempo de utilização de sistemas de revolvimento mecânico, na secagem de café em secadores de camada fixa.

Desta forma, teve-se como objetivo, neste trabalho, avaliar o efeito de diferentes intervalos de tempo de revolvimento no consumo de energia, em secador de camada fixa para café, com sistema de revolvimento mecânico.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 O CAFÉ**

#### **2.1.1 Café no Brasil**

O desenvolvimento da indústria cafeeira no Brasil ocorreu, principalmente, devido ao fato de ter sido uma atividade baseada na utilização de trabalho escravo e na utilização de grandes áreas de terra, que eram tidas como um recurso sub-utilizado. Assim o café era considerado um produto de baixo custo, sendo cultivado em grande escala, fazendo do país um dos maiores produtores e exportadores de café do mundo (FURTADO, 1991).

Na década de 20, a produção de café no Brasil chegou a representar 80% da produção mundial, porém, essa produtividade teve uma queda após a entrada de muitos países produtores no mercado. Na década de 60, caiu para 35% e chegou a 20% da produção mundial na década de 90, somente no ano de 2001 conseguiu aumentar a média para 26% e no ano posterior, devido a uma grande safra, chegou à produção de 37% (CONAB, 2002).

Na safra de 2004/2005, a produção foi de 38,6 milhões de sacas, 9,8 milhões a menos que o ano de 2002.

O Brasil tornou-se conhecido por ser um grande exportador de quantidade e não em qualidade. Esse fator instigou os produtores a buscarem melhorias no processo produtivo do produto. Uma das principais etapas que interferem na qualidade do produto é a pós-colheita, principalmente a etapa da secagem, uma vez que, a maneira com que a mesma é feita produz grande influência na qualidade final do produto (ORMOND et al., 1999).

No mercado mundial, o café é um produto agrícola e agroindustrial muito importante. Estima-se que o agronegócio do café movimentava cerca de US\$ 55 bilhões anuais em todo mundo (STRENGER, 2001).

### 2.1.2 Café no Paraná

No Paraná a cafeicultura foi introduzida no início do século XIX, mas foi a partir dos anos 50 que teve grande expansão no Estado. Passou de 300.000 ha em 1951 para 1,6 milhões de hectares em 1962 (MONTEIRO, 1985).

Entretanto, o grande aumento da produção gerou, como consequência, a queda do preço do produto no mercado mundial. A situação da cafeicultura foi agravada com as geadas ocorridas em 1975, as quais reduziram drasticamente as áreas cultivadas no Estado do Paraná. Na década de 1990 a área cultivada voltou aos patamares dos anos 50, situada em torno de 430.000 ha (SEAB/DERAL, 2004; FURTADO, 1991).

A cultura cafeeira sofreu grandes prejuízos novamente no ano de 1994, devido a fortes geadas ocorridas no Estado e sua erradicação foi quase que total. Com isso a cafeicultura paranaense tomou novos rumos, com investimentos em novas tecnologias como o cultivo do café adensado. Mesmo com essa tecnologia a cultura cafeeira do Estado continuou em declínio, chegando em 2003 com uma área de 134.775 ha e uma produção de 1,95 milhões de sacas (SEAB/ DERAL, 2004).

## 2.2 PROCESSO DE SECAGEM

O princípio do processo de secagem consiste em eliminar total ou parcialmente a água existente nos espaços intercelulares dos grãos. Essa eliminação de água ocorre com a transferência do calor do ar, gerado pelo secador, que ocupa o espaço onde se encontra a água, a qual é eliminada na forma de fluxo de vapor. Portanto, a secagem ocorre por meio de um processo simultâneo de eliminar, primeiramente, a água superficial dos grãos para o ar através da evaporação e, posteriormente, movimentar a água do interior do grão até sua eliminação parcial (BAKKER-ARKEMA et al., 1978).

Já para Dalpasquale (1983), a secagem de grãos pode ser definida de acordo com os enfoques teóricos e práticos. Nos estudos teóricos o processo de secagem seria a transferência de calor e de massa, já nos estudos práticos a secagem seria definida como a maneira pela qual se elimina a umidade interna de um grão de modo que se possa armazená-lo com total segurança.

De acordo com Dorfman et al. (1981), o processo de secagem influi diretamente no aspecto e na torração do café, a qual deve ser feita lenta e uniformemente para não quebrar o grão, mantendo sua consistência e uniformidade na cor, permitindo, dessa forma, o melhor sabor do produto.

O processo de secagem é um processo de extrema importância que antecede a armazenagem, pois, sendo a secagem bem feita, os grãos podem ser armazenados com segurança, mantendo as qualidades químicas, físicas e as características biológicas do produto (DALPASQUALE, 1983).

### 2.3 MÉTODOS DE SECAGEM

Os métodos de secagem mais comumente utilizados no Brasil são a secagem em terreiros e a secagem mecânica. A secagem em terreiros consiste em espalhar o café em grandes espaços, que podem ser de chão batido, cimento, asfalto ou tijolo e expostos às condições naturais de clima, sendo apenas revolvidos manualmente. Porém, este método de secagem, apesar de natural, apresenta limitações, ficando o café a mercê das condições climáticas e o processo de secagem pode demorar de 10 a 20 dias, favorecendo a fermentação e surgimento de fungos (DORFMAN et al.,1981).

Tendo em vista os problemas existentes durante a secagem dos grãos em terreiros, a secagem artificial, em secadores mecânicos, é um procedimento de fundamental importância para os produtores de grãos. De modo geral, os secadores de

leito fixos são os mais acessíveis aos produtores, principalmente pelo seu custo (LACERDA FILHO, 1986).

No Brasil, há um período seco e de temperatura moderadamente elevadas, coincidindo com estação da colheita, induzindo a passagem rápida do estágio maduro ao parcialmente seco, sendo necessário a secagem em terreiros ou em secadores mecânicos (BERBERT et al, 1994). No entanto, os autores consideram que a tendência era a utilização da combinação dos dois sistemas.

De acordo com Campos et al. (1999-a), mesmo diante dos avanços tecnológicos existentes no setor de secadores mecânicos, a secagem em terreiros ainda é muito utilizada, principalmente pelo alto custo envolvido no sistema mecânico, se comparado aos custos da secagem em terreiros, sendo esse mais acessível a pequenos e médios produtores.

A correta escolha do método de secagem é influenciada por alguns fatores como: o capital disponível para investimentos, o nível tecnológico do produtor, o volume da produção e as condições climáticas da região (DORFMAN et al., 1981).

## 2.4 SECADORES

Os secadores de grãos podem ser classificados de acordo com diversos critérios, tais como: o fluxo do produto no secador e a temperatura da secagem. Os secadores classificados em relação ao fluxo do produto podem ser: estacionários ou contínuos (DALPASQUALE et al., 1991).

Nos secadores estacionários ou secadores de camada fixa (bateladas), o ar de secagem movimenta-se da camada inferior para a superfície da massa de grãos. A troca de umidade ocorre entre os grãos e o ar, em uma região denominada zona de secagem. Esta zona de secagem move-se no sentido da camada inferior para a superfície da massa de grãos, conforme ocorre o processo de secagem. Os grãos da camada inferior atingem a umidade de equilíbrio com o ar, antes dos grãos da camada superior. Podendo, então, estabelecer dois gradientes distintos durante a secagem. O primeiro é o gradiente de umidade dos grãos, estabelecidos entre as camadas inferior e superior da massa de grãos e o segundo é o gradiente de temperatura (BROOKER et al., 1979).

Nos secadores de camada fixa, para maximizar o processo de secagem, o desenvolvimento de um sistema de revolvimento de grãos se tornou primordial, pois, reduz-se o tempo de secagem, uma vez que o produto, sendo revolvido, seca com maior rapidez. Entretanto, essa redução no tempo de secagem pode gerar um aumento nos custos de produção, pois o produto é revolvido constantemente durante todo o processo de secagem, se o sistema for acionado por motor (CAMPOS et al., 1999-a).

Para Morey et al. (1976), os secadores com elevados fluxos de ar e alta temperatura devem ter um procedimento de operação para reduzir as exigências de energia durante a secagem. Essas exigências podem ser reduzidas através de: (1) ajuste da operação com o secador; (2) permitir a secagem parcial no campo; (3) com secagem parcial em altas temperaturas seguida pela secagem em baixa temperatura.

### 2.4.1 A Temperatura

Na maioria dos secadores mecânicos as necessidades energéticas para o processo de secagem são fornecidas por convecção forçada através do ar aquecido. Para o aquecimento do ar, tais secadores utilizam energia proveniente da combustão de lenha ou de derivados de petróleo, para elevar a temperatura do ar de secagem de 60° a 200°C (ROSSI & ROA, 1980).

O aumento da temperatura do ar acelera o processo de secagem, pois reduz a umidade relativa do ar, adquirindo, então, uma grande capacidade de secagem. Entretanto, o aumento exagerado da temperatura poderá diminuir a eficiência do secador no processo (DIOS, 1996).

A temperatura de secagem elevada provoca uma rápida e intensa perda de umidade da superfície do grão, ocasionando endurecimento superficial, que dificulta a evaporação da umidade contida no seu interior (BIAGI et al., 1992). Para obtenção de um café de boa qualidade, recomenda-se que a temperatura na massa de grãos não ultrapasse 45°C (ANDRADE, 1997; CASTRO, 1991; IBC, 1985).

### 2.4.2 O Teor de Umidade dos grãos

O teor de umidade inicial do produto influencia o processo de secagem, pois, quanto maior a umidade de um produto, maior será a quantidade de água evaporada por unidade de energia. Com o elevado conteúdo de umidade, as forças de adsorção da

estrutura celular sobre as moléculas de água, são menores que quando o conteúdo de umidade do produto é mais baixo. Em consequência, se utiliza maior quantidade de energia para evaporar a umidade contida em grãos mais secos (DALPASQUALE et al., 1991).

O café é colhido com cerca de 60 a 80% b.u., sendo considerado um produto com alta umidade (ROSSI & ROA, 1980). Esse é o fator mais importante para propiciar surgimento de mofos se associado a elevação da temperatura da massa de grãos, que podem causar fermentação dos grãos (DORFMAN et al., 1981). A umidade possibilita o surgimento de agentes biológicos, ocasionando o aumento da taxa de respiração e a elevação da temperatura da massa, com posterior fermentação.

O teor de umidade dos grãos é, sem dúvida, o mais importante fator que contribui para o surgimento de fungos, causa principal da redução de qualidade dos produtos agrícolas. Juntamente com o crescimento de fungos, as condições desfavoráveis de colheita e de armazenamento e os altos teores de umidade promovem aquecimento acentuado na massa de grãos, causando descoloração, aumento de ácidos graxos e redução da qualidade nutritiva (SILVA et al., 1990).

No caso específico do café, a desuniformidade no teor de umidade faz com que os grãos 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 (CARVALHO & CHALFOUN, 1985).

O fruto de café quando colhido verde, origina um grão que possui menor massa e uma umidade diferenciada, ocasionando uma secagem desigual. Para obter um maior

rendimento a colheita deve ser feita quando a maior parte dos frutos estiverem maduros, evitando-se a queda na qualidade do produto (GUARÇONI et al., 1998).

O teor de umidade de um produto deve ser aquele que permita seu armazenamento, em condições ambientais por mais de 3 anos, sem perder suas propriedades nutricionais e organolépticas (ROSSI & ROA, 1980).

#### 2.4.3 Combustíveis e energia

Pode-se definir energia como propriedade de um sistema que lhe permite realizar trabalho. A energia pode ter várias formas, transformáveis umas nas outras e, cada uma, capaz de provocar fenômenos bem determinados e característicos nos sistemas físicos. Em todas as transformações de energia há sua completa conservação, pois a mesma não pode ser criada, mas apenas transformada de uma forma para outra (SEARS et al., 1996).

A dificuldade econômica para adquirir derivados de petróleo como fonte de energia, fez com que vários países optassem pelo uso de energias renováveis, tais como: a lenha, resíduos agrícolas, energia elétrica e energia solar (DALPASQUALE et al., 1991).

Com isso, intensificou-se a utilização e melhoraram as tecnologias empregadas em secadores mecânicos, cujo principal combustível utilizado é a lenha, proveniente de reflorestamento ou de florestas nativas (CAMPOS, 1998).

A principal característica de um combustível é seu poder calorífico, que pode variar conforme o tipo de lenha utilizado (Tabela 1), e também, conforme a sua umidade (Tabela 2) (DALPASQUALE et al., 1991).

De acordo com Brooker et al. (1992), a operação de secagem é, sem dúvida, a que mais consome energia no processo produção agrícola, podendo representar até 60% do seu consumo. Evidencia-se então, a necessidade da escolha de equipamento com alta eficiência energética. Conforme Cordeiro et al. (1983), os principais parâmetros para a escolha do sistema de secagem são: consumo de energia, eficiência do secador e parâmetros relativos à qualidade do produto.

Para Dios (1996), aproximadamente 50% do calor proveniente do combustível se perde em um sistema de secagem, sendo que, a quantidade de calor necessária para a evaporação de 1 kg de água é de 600 kcal.

Tabela 1. Poder calorífico inferior da lenha de seca.

Espécie	PCI (kJ kg <sup>-1</sup> )
Eucalipto	19228
Pinos	20482
Cedro	18066
Ciprés	21443
Encino	19500
Média	19744

Fonte: Mitre (1982) e Diniz (1981) citado por Dalpasquale et al., (1991)

Tabela 2. Poder calorífico da lenha\* em função do conteúdo de umidade.

Umidade (%)	PCI (kJ kg <sup>-1</sup> )
0	19880
10	17644
20	15412
30	13180
40	10947
50	8715
60	6483

Fonte: Diniz (1981) citado por Dalpasquale et al., (1991)

\* Não se faz distinção entre espécies

Em um sistema de secagem a perda de calor pode ser através do calor sensível, que vai com o ar usado, ou quando o ar ambiente está saturado, originando uma perda de calor por convecção (DIOS, 1996). Segundo Dalpasquale et al. (1991), a temperatura e a umidade relativa do ar não são importantes para a secagem com secadores de altas temperaturas tendo pouca influência sobre a taxa de secagem, entretanto, é um fator importante para determinar a quantidade de energia necessária para atingir a temperatura de secagem. Quanto menor a temperatura ambiente maior será a quantidade de energia necessária para alcançar a temperatura de secagem.

As operações de secagem e armazenamento, quando conduzidas corretamente e com equipamentos eficientes, contribuem significativamente para a redução dos custos operacionais, principalmente pela economia de energia (REINATO et al., 2002).

Silva et al. (1983), afirmam que os primeiros pontos a serem considerados para a escolha de um secador devem ser o custo inicial do sistema, a capacidade dinâmica e em seguida, deve ser analisado a quantidade e o tipo de energia consumida.

De acordo com Stefanini & Roa (1980), o grande volume de energia consumida no processo de secagem de produtos como o café, incentiva o desenvolvimento de estudos sobre as técnicas existentes, objetivando uma economia e uma melhor eficiência no processo de secagem.

#### 2.4.4 Sistemas de Revolvimento

O processo de revolvimento deve-ser feito de maneira lenta, constante e uniforme, até atingir a taxa de umidade ideal, proporcionando, ainda, uma redução do tempo de secagem. Porém, sistemas de revolvimento proporcionam custos operacionais elevados, pois se utiliza uma estrutura com alto custo de montagem e manutenção (DORFMAN et al., 1981).

Para maximizar o processo de secagem, o desenvolvimento de um sistema de revolvimento de grãos se trona primordial, assim, reduz-se o tempo de secagem do café, uma vez que o produto, sendo revolvido, seca com maior rapidez. Entretanto, essa redução no tempo de secagem gera aumento nos custos de produção, pois o café é revolvido constantemente durante todo o processo com a utilização de um sistema acionado por motor (CAMPOS et al.,1999-b).

O revolvimento deve ser feito de maneira lenta e durante todo o processo de secagem, evitando assim, diversos problemas que influenciam a qualidade. Desta forma, no processo deve-se atentar para que não ocorra uma secagem rápida

(temperaturas altas) e violenta (quebras dos grãos durante o revolvimento) (DIOS, 1996).

Já Cordeiro (1982), considera que a melhor forma de secagem é a seca-aeração, pois esse processo gera as condições apropriadas para a secagem como temperatura, repouso e resfriamento, permitindo uma redução nas tensões internas do grão e a constante movimentação do mesmo que permite uma secagem homogênea.

Campos et al. (1999-b), preconizam que o desenvolvimento de sistemas de revolvimento do produto é primordial para secadores de camada fixa. No entanto, alertam os autores, que esse sistema, deve ser acionado a intervalos de tempo adequados, buscando minimizar as alterações dos aspectos físicos do produto e manter as características organolépticas do café.

Para o café, o revolvimento deve ser feito em intervalos de 180 minutos, aproximadamente, para uma espessura de camada de 40 a 50 cm. Tal procedimento reduz para níveis aceitáveis os gradientes de teor de umidade e de temperatura existentes (CASTRO, 1991), contribuindo para uma melhor uniformidade de secagem e um melhor produto final.

Segundo Greco et al. (2004), o sistema de secagem com revolvimento mecânico a intervalos maiores de tempo proporciona maior economia no consumo de energia elétrica.

#### 2.4.5 Avaliação de secadores

A análise da eficiência dos modelos de secadores é de extrema importância, pois, permite um avanço no desenvolvimento de novos protótipos, verificando o real desempenho do equipamento e, até mesmo, para promover a venda do mesmo através da orientação detalhada dos vendedores sobre as características do produto (NELLIST & BRUCE, 1992).

Nellist & Bruce (1995) afirmam que, o processo de secagem em um secador com ar aquecido, é afetado pelas interações entre diversas variáveis, algumas das quais estão sujeitas a consideráveis variações, que são incontroláveis. Condições ambientais, por exemplo, sofrem mudanças continuamente e contribuem, em parte, para as flutuações na temperatura do ar aquecido.

Para avaliação destas condições ambientais são necessários sensores para temperatura ambiente, umidade relativa, temperatura do ar no ponto de entrada dos grãos e consumo de energia (quando se usam combustíveis líquidos, gasosos ou eletricidade). As análises do teor de umidade e qualidade dos grãos são feitas sob condições de laboratório, por meio de amostras coletadas na entrada e na saída do produto. A temperatura deve ser medida também na massa de grãos, ou em amostras coletadas em *containers* isolados termicamente (NELLIST & BRUCE, 1992). Bakker-Arkema et al.(1978) ressaltam que as avaliações experimentais de secadores requerem medidas precisas dos grãos a serem secados e parâmetros de secagem e das fontes de energia, incluindo a energia usada nos ventiladores e sistemas de movimentação dos grãos.

Para os secadores de batelada, as leituras devem ser feitas durante um ciclo de secagem e as amostras realizadas no carregamento e na descarga do secador. A escolha dos pontos de amostragem, a divisão correta das amostras e a determinação de umidade são vitais para a precisão dos resultados (NELLIST & BRUCE, 1992).

Segundo Bakker-Arkema et al. (1978), a eficiência energética de um secador de grãos, ou de processo de secagem é melhor expressa em termos de energia requerida para remover uma unidade de massa de umidade do grão, em kJ por kg de água evaporada.

O processo para o teste de um secador de batelada pode ser resumido nas seguintes etapas (NELLIST & BRUCE, 1992):

1. Carregar o secador e registrar sua capacidade
2. Fixar a temperatura de secagem.
3. Iniciar a operação de secagem de acordo com os procedimentos recomendados.
4. Fazer os ajustes iniciais, fixar as condições de secagem e iniciar a obtenção dos dados
5. Durante o período de teste manter e registrar as leituras dos sensores, perfazendo um mínimo de 12 leituras.
6. Ao atingir a umidade pré-determinada, proceder ao resfriamento dos grãos, a operação de descarga e determinar a massa do produto final.

Bakker-Arkema et al. (1978) propuseram uma metodologia para avaliação do desempenho de secadores. Esta metodologia é baseada em números reduzidos de testes de campo, sob determinadas condições padronizadas (Tabela 3).

Vários autores têm se baseado nesta metodologia para avaliação de protótipos de secadores (GRECO et al. 2004; CAMPOS et al. 1999-a; SILVA et al., 1992; LACERDA FILHO, 1986; SABIONI, 1986; OSÓRIO, 1982).

Tabela 3. Parâmetros e especificações do secador requerido para avaliação do desempenho.

PARÂMETROS	UMIDADE
Parâmetros dos grãos <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tipo de grão</li> <li>• Teores de umidade inicial e final</li> <li>• Temperatura inicial e final</li> <li>• Porcentagem de impurezas inicial e final</li> <li>• Massas específicas globais iniciais e finais</li> <li>• Massa do produto úmido</li> <li>• Índice de qualidade</li> </ul>	- % b.u °C % kg m <sup>-3</sup> kg -
Parâmetros do ar <ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperatura do ar de secagem</li> <li>• Temperatura de bulbo seco do ar ambiente</li> <li>• Umidade relativa do ar</li> </ul>	°C °C %
Especificação do secador <ul style="list-style-type: none"> <li>• Densidade do fluxo de ar</li> <li>• Volume total</li> <li>• Tempo de secagem</li> <li>• Espessura da coluna de secagem</li> <li>• Tempo de carregamento</li> <li>• Tempo de descarga</li> </ul>	m <sup>3</sup> .min <sup>-1</sup> .m <sup>-2</sup> m <sup>3</sup> h m min min
Uso de energia <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ventilador e transportadores</li> <li>• Tipo de combustíveis e quantidade utilizada por lote</li> </ul>	kWh.lote <sup>-1</sup> kg
Dados do desempenho <ul style="list-style-type: none"> <li>• Duração do teste ou volume do produto úmido</li> <li>• Pontos percentuais de umidade removida</li> <li>• Capacidade de secagem</li> <li>• Capacidade de secagem</li> <li>• Eficiências energéticas de secagem, excluindo energia elétrica</li> <li>• Eficiências energéticas de secagem, incluindo energia elétrica</li> </ul>	h ou m <sup>3</sup> % b.u. m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> de produto úmido m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> de produto seco kJ kg <sup>-1</sup> de água evaporada kJ kg <sup>-1</sup> de água evaporada

Fonte: Bakker-Arkema et al. (1978)

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido no município de Jesuítas-PR, localizado a uma altitude de 489 m, latitude 24°23'06'' e longitude 53°23'15''.

Para os testes foi empregado café (*Coffea arabica*, L.), variedade Catuaí vermelho, cultivar IAC 81, plantado em sistema adensado, colhido pelo sistema de derriça total no chão e com pré-secagem em terreiro de cimento até atingir teor de umidade de 25% b.u.

#### 3.1 AVALIAÇÃO DE QUALIDADE DO CAFÉ

Para análise da bebida do café, foi feita a classificação sensorial do produto, para cada tratamento. A classificação quanto à bebida tem como base o gosto ou cheiro que o café apresenta na prova de xícara.

Para classificar o tipo dos grãos (quantidade de defeitos) foi realizado teste utilizando-se amostras com 300g de grãos de café, conforme Tabela 4 (IBC, 1985). As avaliações foram realizadas no laboratório de análise da Cooperativa Agrícola Consolata LTDA (COPACOL), entreposto de Jesuítas-Pr.

Tabela 4. Classificação do tipo (quantidade de defeito) em grãos de café, para amostra de 300g.

Tipo	Números de Defeitos
2	4
3	12
4	26
5	46
6	86
7	160
8	360

Fonte: IBC, 1985.

## 3.2 O SECADOR

Foi utilizado secador de café de camada fixa, modelo Otofem (patente nº UM-7902597-8) onde se instalou um sistema de revolvimento mecânico do produto. O secador é construído sobre base de alvenaria, com a câmara de secagem e fornalha confeccionadas em chapas de aço-carbono número 14 (Figura 1-a).

### 3.2.1 Câmara de Secagem

A câmara de secagem era constituída de um cilindro metálico com diâmetro de 2,75 m e altura de 0,76 m, com capacidade para 4,5 m<sup>3</sup> de grãos. Sua base possui uma chapa com 44% de perfuração, ficando em contato com o *plenum* que recebe o ar aquecido destinado à secagem (Figura 1-b). O revolvimento da camada de grãos na câmara de secagem foi realizado por um sistema de revolvimento, dotado de

movimento giratório horizontal, composto por quatro pás (Figura 1-b), acionado por um motor elétrico de 2 cv.



Figura 1. Secador mecânico de camada fixa para café, com sistema adaptado de revolvimento. (a) vista externa; (b) câmara de secagem.

### 3.2.2 Câmara *Plenum*

A câmara *plenum* era construída em alvenaria, e cuja finalidade era distribuir o fluxo de ar aquecido na câmara de secagem. A sua base tem o mesmo diâmetro da câmara de secagem, altura de 0,5 m e volume interno de 2,9 m<sup>3</sup>.

### 3.2.3 Duto de Ligação

Elemento de transição entre a fornalha e o *plenum*, com comprimento de 1,50 m, que tem a finalidade de conduzir o fluxo de ar aquecido ao secador de maneira uniforme (Figura 2).

### 3.2.4 Ventilador

Com potência de 2 cv e vazão de  $473,2 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$ , succiona o ar ambiente forçando sua passagem através dos dutos da fornalha, onde é aquecido para, em seguida, atingir a câmara de secagem (Figura 2).



Figura 2. Duto de ligação e ventilador.

### 3.2.5 Fornalha de Fogo Indireto

Confeccionada em chapas de aço-carbono de 8 mm, possui trocador de calor composto por 21 dutos, que promovem o aquecimento do ar de secagem em fluxos cruzados. Possui também cinzeiro (coleta dos resíduos sólidos) e chaminé, que promove a retirada dos resíduos gasosos (fumaça) para a atmosfera em um ponto distante da camada de grãos, evitando sua contaminação (Figura 3).



Figura 3. Fornalha de fogo indireto.

### 3.3 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO SECADOR

A seguir são descritos parâmetros que foram analisados, segundo recomendações da literatura (BAKKER-ARKEMA et al., 1978; NELLIST & BRUCE, 1992).

### 3.3.1 Teor de Umidade

A avaliação dos teores de umidade dos grãos foi realizada no laboratório de sementes da UNIOESTE *campus* de Marechal Cândido Rondon, obtidos pelo método-padrão de estufa,  $105 \pm 1^\circ\text{C}$  por 24 horas, com três repetições (BRASIL, 1992).

A coleta de amostras, foi realizada com um coletor segmentado com 4 orifícios independentes (0,1; 0,2; 0,3 e 0,4 metros), em quatro diferentes pontos (A, B, C e D) e quatro alturas como pode-se observar na Figura 4.

As amostragens foram realizadas a cada 2 horas, sendo a primeira logo após o carregamento do secador e a última antes da descarga.

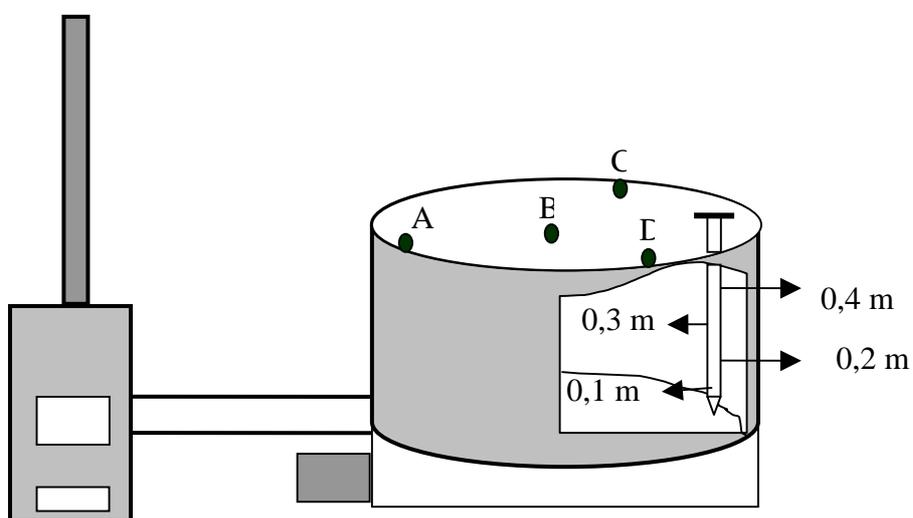


Figura 4. Esquema mostrando os locais de amostragem de grãos de café dentro da câmara de secagem.

### 3.3.2 Determinação da Massa do Produto

Foi realizada durante o carregamento do secador e após o final da secagem, em balança de plataforma modelo “decimal de Quintenz”, com capacidade de 250 kg.

### 3.3.3 Temperatura do na Massa de Grãos.

A temperatura do ar na massa de grãos foi medida a cada intervalo de 2 horas empregando três termômetros analógicos, com precisão de 1°C, introduzidos em quatro diferentes pontos (A, B, C, e D) e três alturas (0,05; 0,2 e 0,4 metros), conforme a Figura 5.

### 3.3.4 Temperatura de Secagem, Temperatura do Ar Ambiente e Teor de Umidade do Ar Ambiente

A temperatura de secagem foi medida com 01 termômetro analógico (precisão de 1°C) instalado no duto de ligação e com 01 termômetro analógico (precisão de 2°C) instalado no *plenum* Figura 5.

A temperatura e teor de umidade relativa do ar ambiente foram obtidos mediante o uso de termo-higrômetro digital instalado em abrigo meteorológico a 1,5 metros de altura e 10 metros de distância do secador.

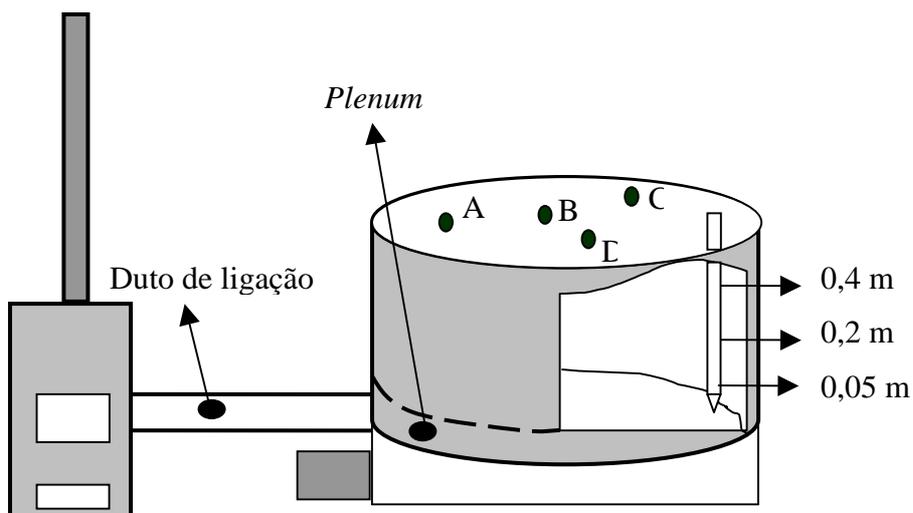


Figura 5. Esquema mostrando os locais de observação de temperatura dentro da câmara de secagem, no *plenum* e no duto de ligação.

### 3.3.5 Consumo de Energia do Ventilador e Sistema de Revolvimento

A energia consumida pelo motor do ventilador e do motor do sistema revolvimento foi calculada pela equação:

$$EM = PM \times t_f \times 2647,8 \quad (1)$$

em que,

EM = energia consumida pelo motor, kJ;

PM = potência do motor, cv; e

$t_f$  = tempo de funcionamento do motor, h.

### 3.3.6 Energia Proveniente do Combustível

Para aquecimento do ar de secagem, foi utilizado como combustível a madeira de eucalipto (*Eucalyptus grandis*). O teor de umidade da lenha foi obtido pelo método de estufa,  $105 \pm 1^\circ\text{C}$  por 72 horas, com três repetições para cada amostra. A energia proveniente deste combustível foi determinada pela seguinte equação:

$$\text{EPC} = \text{QC} \times \text{PCI} \quad (2)$$

em que,

EPC = energia proveniente do combustível, kJ;

QC = quantidade de combustível, kg; e

PCI = poder calorífico inferior do combustível,  $\text{kJ.kg}^{-1}$ .

Para determinação do poder calorífico da lenha, foi utilizada a equação proposta por Tillman (1978), citado por Osório (1982):

$$\text{PCI} = \text{PCS} - 0,0114 \times \text{PCS} \times \text{UC} \quad (3)$$

em que,

PCI = poder calorífico inferior do combustível,  $\text{kJ.kg}^{-1}$ ;

PCS = poder calorífico superior do combustível,  $\text{kJ.kg}^{-1}$  ( $17.974 \text{ kJ.kg}^{-1}$  para a espécie *Eucalyptus grandis*); e

UC = teor de umidade do combustível, % b.u.

### 3.3.7 Capacidade de Secagem, Densidade do Fluxo de Ar e Tempo de Secagem

A capacidade de secagem foi determinada pelo quociente entre a massa de produto úmido e o tempo de secagem.

A densidade do fluxo de ar foi obtida a partir do quociente entre a vazão do ar no duto de entrada da fornalha e a área perfurada da câmara de secagem. A vazão na entrada da fornalha, corresponde ao produto do fluxo de ar, obtido por anemômetro digital de pás rotativas pela área de entrada de ar.

Para medir o fluxo de ar, o anemômetro digital de pás rotativas foi fixado em um funil confeccionado de papelão, onde o maior diâmetro do funil era instalado no ventilador e o menor diâmetro no anemômetro. O conjunto anemômetro funil, era instalado a cada 2 horas.

Foram cronometrados separadamente o tempo de secagem para cada repetição.

### 3.3.8 Eficiência Energética de Secagem

A eficiência energética de secagem, considerando a quantidade de energia necessária para evaporar uma unidade de massa de água do produto, foi obtida pela seguinte equação (SILVA et al. 1992):

$$EEs = \frac{EC}{(M_i - M_f)} \quad (4)$$

em que,

EEs = eficiência energética de secagem,  $\text{kJ.kg}^{-1}$  de água evaporada;

EC = energia consumida, kJ;

Mi = massa inicial do produto, kg; e

Mf = massa final do produto, kg.

A energia consumida correspondeu a aquela proveniente da queima do combustível mais a energia elétrica necessária para movimentar os motores do ventilador e do sistema de revolvimento.

A eficiência energética foi determinada também, em valores percentuais, segundo equação apresentada por DIOS (1996):

$$E_f = \frac{\text{kg de água evaporada} \times \text{calor latente da água (kcal kg}^{-1}\text{)}}{\text{kg de combustível usado} \times \text{poder calorífico do combustível}} \times 100 \quad (5)$$

em que,

Ef – Eficiência energética (%)

### 3.4 SISTEMAS DE OPERAÇÃO COM O SECADOR

O secador foi carregado com produto úmido até a capacidade máxima da câmara secagem (Figura 6), procedendo-se ao revolvimento dos grãos, em intervalos de tempo, conforme os tratamentos:

SVRC – Secagem com ventilação e revolvimento contínuos.

SVCR1 – Secagem com ventilação contínua e revolvimento de 40 minutos com intervalo de 1 hora, sucessivamente até o fim do processo.

SVCR2 – Secagem com ventilação contínua e revolvimento de 40 minutos com intervalo de 2 horas, sucessivamente até o fim do processo.

SVCR3 – Secagem com ventilação contínua e revolvimento de 40 minutos com intervalo de 3 horas, sucessivamente até o fim do processo.

A alimentação de combustível (lenha) foi realizada de forma que a temperatura do ar no *plenum* se mantivesse constante, em torno de 75°C. Para determinar o final da secagem, foi realizado um monitoramento do teor de umidade do produto com auxílio de um determinador micro computadorizado modelo PS-12.



Figura 6. Secador com a capacidade máxima de carga.

### 3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

O delineamento experimental foi em blocos inteiramente casualizados com 4 tratamentos, totalizando 16 parcelas (Figura 7). Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, teste F e teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

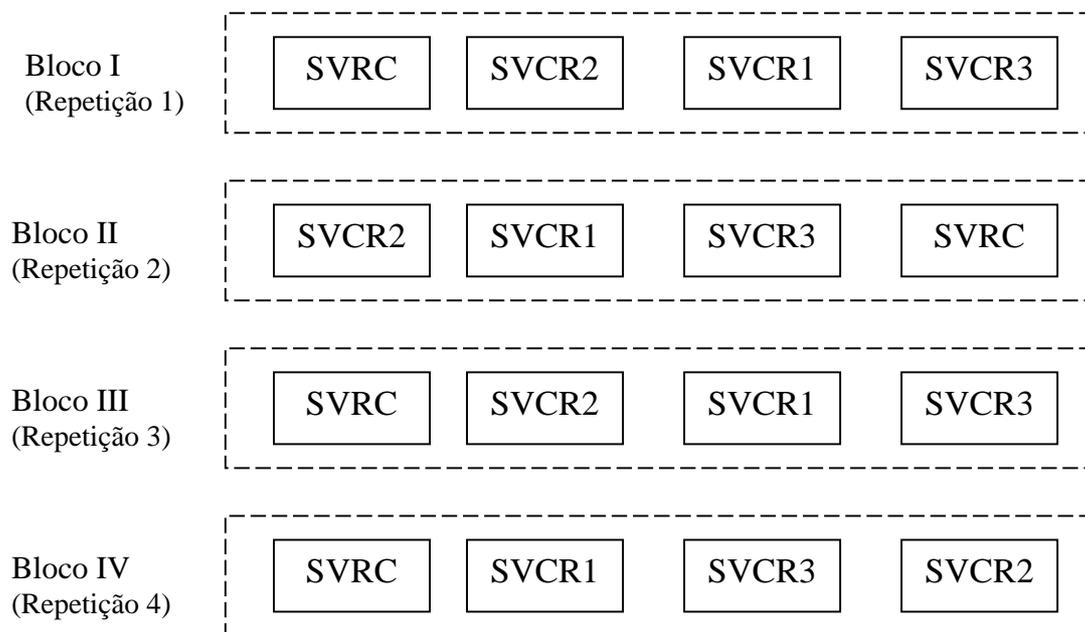


Figura 7. Esquema do sorteio dos tratamentos nos blocos.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 TEMPERATURA E UMIDADE RELATIVA DO AR AMBIENTE

Na Figura 8 observa-se a temperatura e umidade relativa do ar ambiente . Durante o período experimental houve uma precipitação pluviométrica do dia 6 ao dia 20 de 42 mm. A umidade relativa do ar elevada durante esse período pode ter influenciado no desempenho do secador, reduzindo sua eficiência.

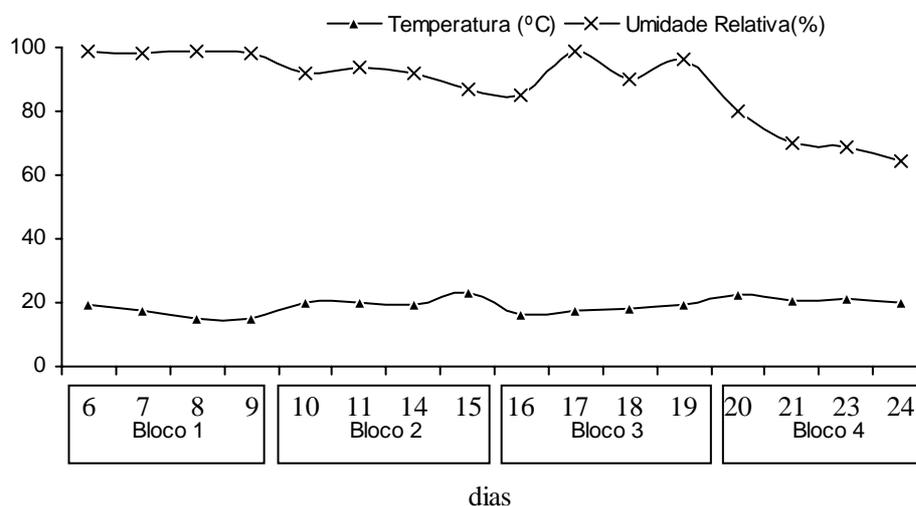


Figura 8. Representação gráfica da média diária da temperatura do ar e umidade do ar ambiente e representação do período de realização do experimento para cada bloco.

## 4.2 PARÂMETROS RELATIVOS AOS GRÃOS

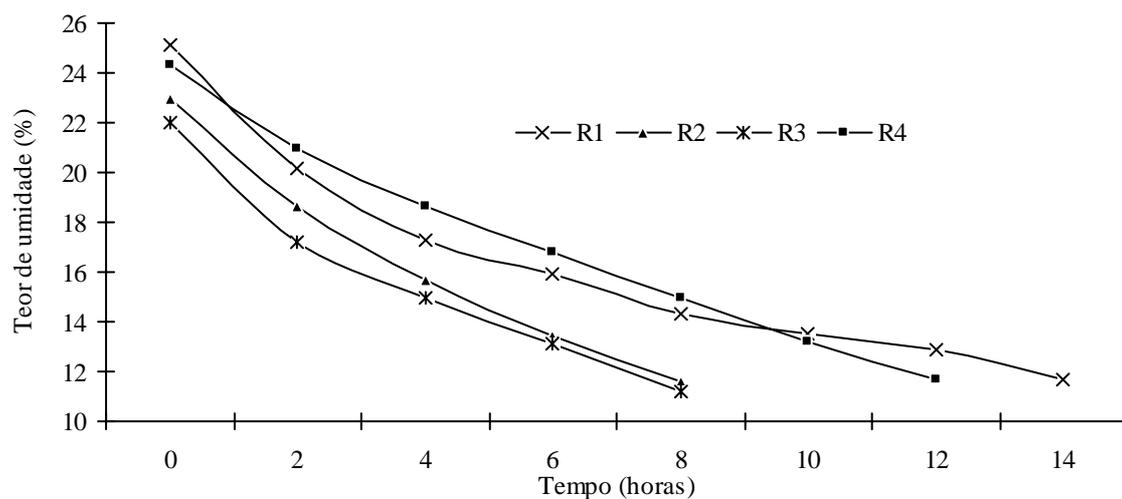
### 4.2.1 Porcentagem de Impurezas

Este experimento teve uma média de 2,28% de impureza por tratamento. Essa porcentagem de impureza esta relacionada ao sistema de colheita do café (derrixa total no chão), o qual é caracterizado por apresentar grande quantidade de impurezas.

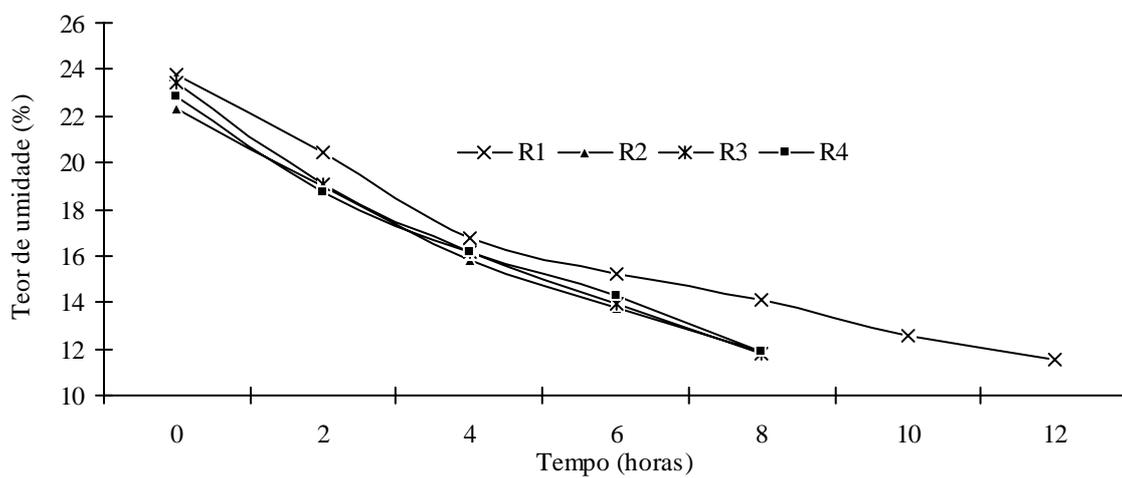
### 4.2.2 Teor de Umidade

Os teores médios de umidade do café, no início do experimento, foram de 24,9; 22,7; 23,5 e 23,6% b.u., para os tratamentos SVRC a SVCR3, respectivamente. O produto foi seco até  $11,6 \pm 0,5$  % b.u., que é o considerado ideal para armazenamento, segundo ROSSI & ROA (1980), não houve diferenças significativas entre os tratamentos, tanto para o teor de umidade inicial, como para o final.

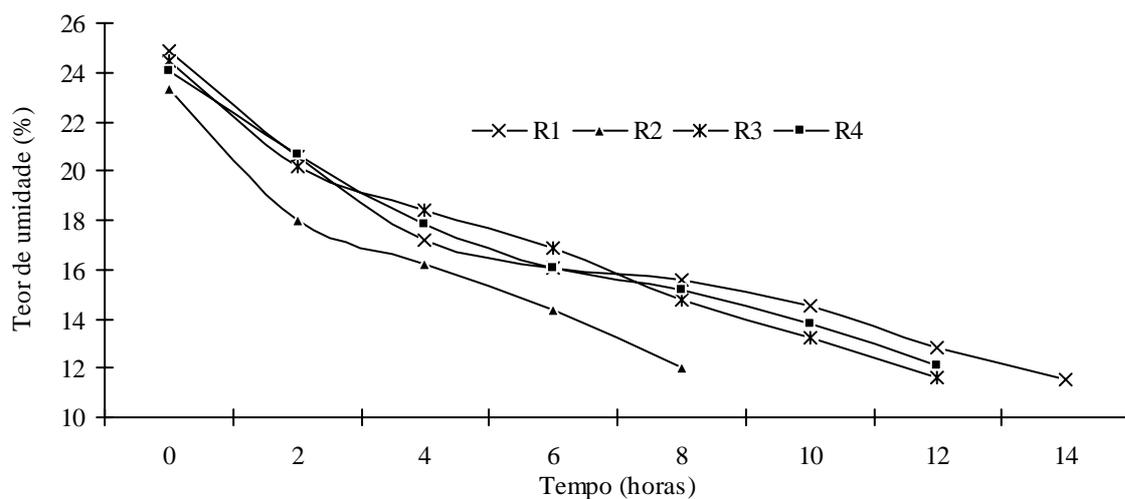
Nas Figuras 9, 10, 11 e 12 foram apresentadas as curvas de secagem do café, em que, os valores representam as repetições para cada tratamento. O maior tempo de secagem foi observado para a repetição 1 (R1) de cada tratamento. Essa demora na secagem deve-se, possivelmente, às condições climáticas ocorridas no período como mostra a Figura 8.



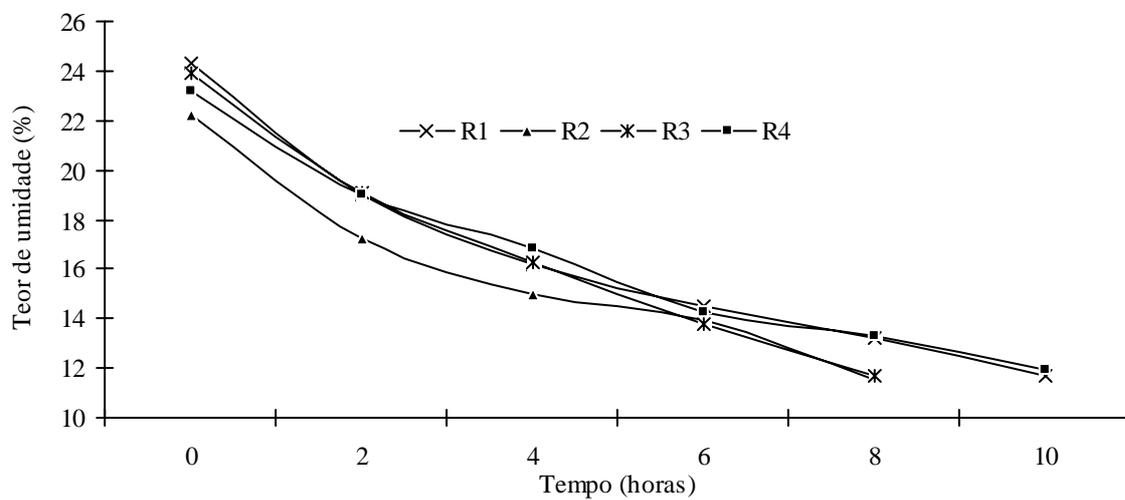
Figuras 9. Curvas de secagem do tratamento SVRC; repetição 1 (R1), repetição 2 (R2), repetição 3 (R3) e repetição 4 (R4).



Figuras 10. Curvas de secagem do tratamento SVCR1; repetição 1 (R1), repetição 2 (R2), repetição 3 (R3) e repetição 4 (R4).



Figuras 11. Curvas de secagem do tratamento SVCR2; repetição 1 (R1), repetição 2 (R2), repetição 3 (R3) e repetição 4 (R4).



Figuras 12. Curvas de secagem do tratamento SVCR3; repetição 1 (R1), repetição 2 (R2), repetição 3 (R3) e repetição 4 (R4).

Na Figura 13 foram apresentadas as médias das curvas de secagem para as quatro repetições de cada tratamento. Os valores médios do teor de umidade mantiveram-se próximos para todos os tratamentos, exceção feita ao tratamento SVCR2, onde ocorreu o revolvimento a cada duas horas. O final da secagem ocorreu, em média, após 12 horas para os tratamentos SVCR1 e SVCR3, enquanto para os tratamentos SVRC e SVCR2, a secagem foi completada após 14 horas. LACERDA FILHO (1986) realizando experimento, com secador de camada fixa com pré-secagem em terreiro de cimento e reduzindo o teor de umidade inicial de 35% b.u. para 13% b.u., encontrou um tempo médio de secagem de 18 horas.

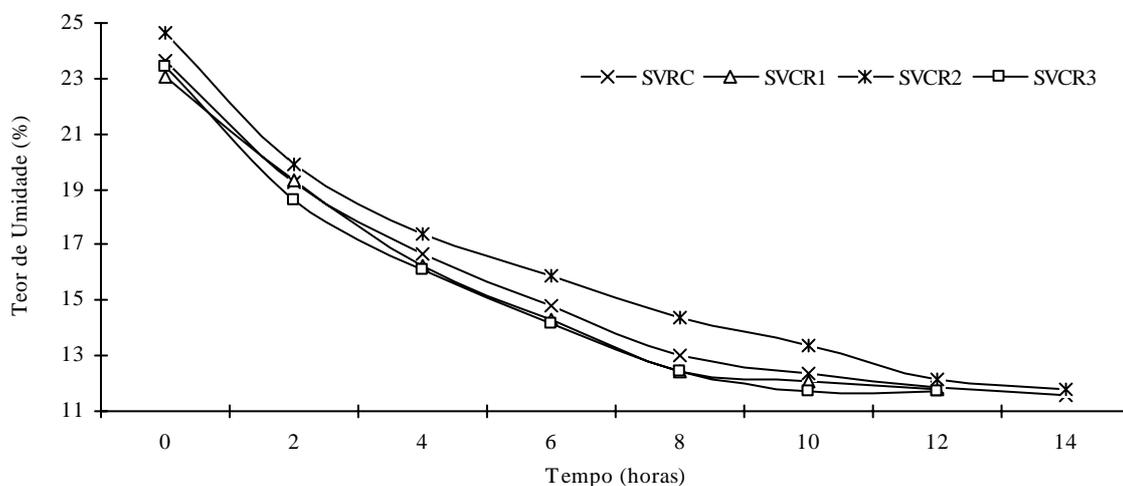


Figura 13. Curvas médias de secagem do café em secador de camada fixa.

### 4.2.3 Gradiente de Teor de Umidade

Para avaliação da uniformidade da secagem do produto, foram analisados os gradientes de teor de umidade, a diferença no final da secagem não foi significativa, como pode se observar nas Figuras 14, 15, 16 e 17. Campos et al. (1999-a), detectaram um gradiente de teor de umidade nos grãos, onde os grãos mais próximos ao *plenum* se apresentaram mais secos. No entanto, o revolvimento contribuiu para reduzir o gradiente de umidade formado entre as camadas da coluna de grãos.

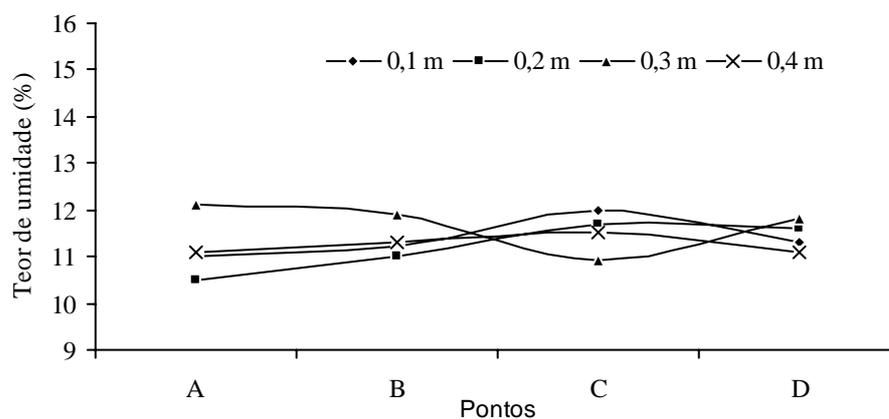


Figura 14. Gradiente de teor de umidade formado no tratamento SVCR nos pontos A, B, C e D em relação às alturas de 0,1; 0,2; 0,3 e 0,4 m.

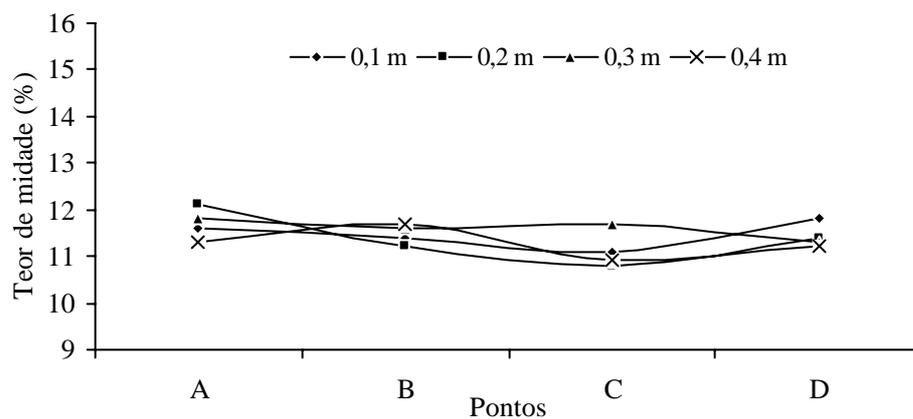


Figura 15. Gradiente de teor de umidade formado no tratamento SVCR1 nos pontos A, B, C e D em relação às alturas de 0,1; 0,2; 0,3 e 0,4 m.

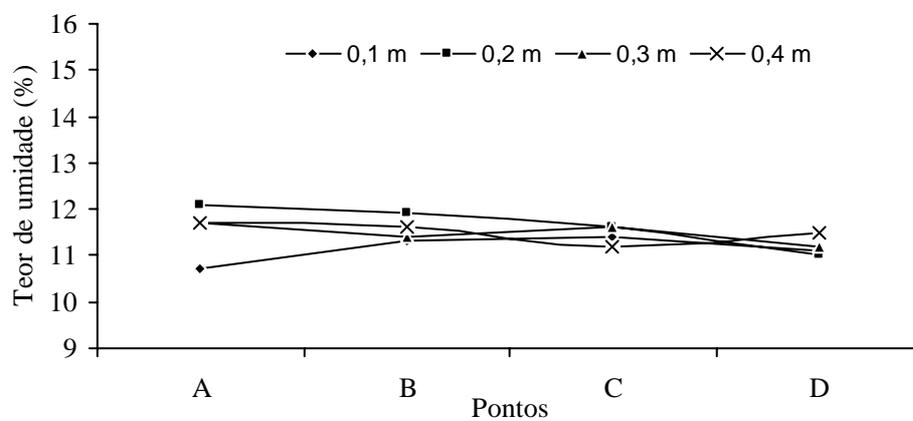


Figura 16. Gradiente de teor de umidade formado no tratamento SVCR2 nos pontos A, B, C e D em relação às alturas de 0,1; 0,2; 0,3 e 0,4 m.

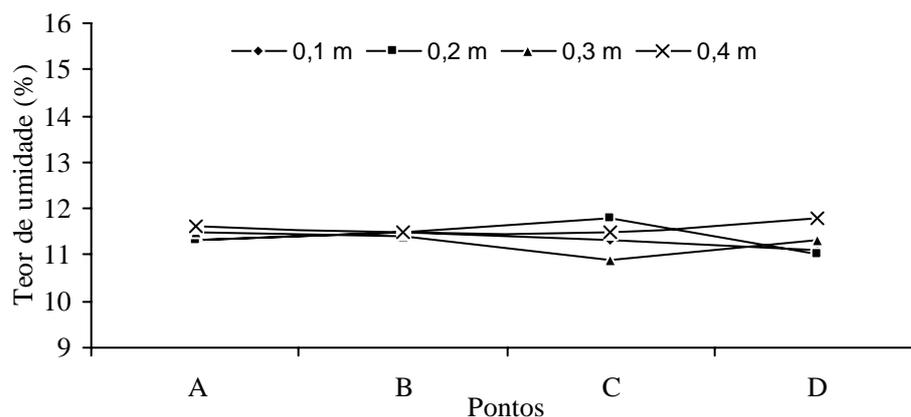


Figura 17. Gradiente de teor de umidade formado no tratamento SVCR3 nos pontos A, B, C e D em relação às alturas de 0,1; 0,2; 0,3 e 0,4 m.

#### 4.2.4 Temperatura e Fluxo de Ar na Massa de Grãos

A temperatura do ar no interior da massa de grãos, variou conforme os tratamentos, não tendo sido observado a diferença estatística significativa. No entanto, observa-se a que a variação de temperatura ocorreu conforme a densidade do fluxo de ar em função dos diferentes intervalos de tempo (Tabela 5), quanto maior a densidade de fluxo de ar menor a temperatura do ar na massa de grãos. Nota-se que, o SVRC, foi o que apresentou maior fluxo de ar, esse resultado pode estar ligado ao revolvimento contínuo, fazendo com que o ar passe entre os grãos com maior facilidade.

Segundo Campos (1998), o fluxo de ar pode exercer influência na secagem. Assim, nesse experimento, verificou-se que o fluxo de ar teve diferença estatística significativa, no entanto, não influenciou a temperaturas do ar de secagem (Tabela 5).

Tabela 5. Temperatura média do ar na massa de grãos e densidade média do fluxo de ar nos tratamentos.

Tratamentos	Temperatura média do ar na massa de grãos (°C)	Densidade média do fluxo de ar (m <sup>3</sup> min <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> )
SVRC	43,36 a	169,5 a
SVCR1	44,65 a	167,8 ab
SVCR2	45,80 a	165,4 bc
SVCR3	46,88 a	163,8 c

Letras diferentes nas colunas apresentam diferença significativa à 5% de probabilidade pelo teste de Tukey

#### 4.2.5 Massa do Produto

Os valores médios de massa iniciais de grãos variaram, mas não se observou diferença estatística significativa. No entanto, a perda de água teve diferenciou-se significativamente entre os tratamentos SVRC e SVCR1. No SVRC obteve-se uma maior perda de água em relação ao SVCR1. Não houve diferença significativa na perda de água por hora entre os tratamentos, indicando que a secagem ocorreu de maneira uniforme para todos (Tabela 6).

Tabela 6. Valores médios de massa do produto inicial e final, diferença de massa e perda de massa por hora, nos tratamentos.

Tratamentos	Massa		Perda de água	Perda de água.h <sup>-1</sup>
	Inicial	Final		
SVRC	1443,25 a	1054,25	389,00 a	36,98 a
SVCR1	1470,00 a	1155	315,00 b	35,46 a
SVCR2	1444,50 a	1096,75	347,75 ab	30,35 a
SVCR3	1450,75 a	1100,5	350,25 ab	37,37 a

Letras diferentes nas colunas apresentam diferença significativa à 5% de probabilidade pelo teste de Tukey

#### 4.2.6 Qualidade do Produto

Na análise da bebida do café, visando detectar diferenças na qualidade devido à variação nos períodos de revolvimento, não observou diferença estatística significativa (Tabela 7). Todos os tratamentos apresentaram bebida Riada, a qual é caracterizada por se apresentar com leve sabor de iodofórmio ou ácido fênico (BARTHOLO & GUIMARÃES, 1997). Com relação ao tipo de grão, apenas na repetição 1 do tratamento SVRC, houve diferença (46 a 85 defeitos). Nas demais repetições e tratamentos não houve diferença entre o tipo de grão, apresentando entre 86 e 159 defeitos para cada amostra de 300 g.

Tabela 7. Resultado da análise sensorial e classificação de café para os quatro tratamentos.

Blocos	Tratamento							
	SVRC		SVCR1		SVCR2		SVCR3	
	Bebida	Tipo	Bebida	Tipo	Bebida	Tipo	Bebida	Tipo
B1 (R1)	riada	5	riada	6	riada	6	riada	6
B2 (R2)	riada	6	riada	6	riada	6	riada	6
B3 (R3)	riada	6	riada	6	riada	6	riada	6
B4 (R4)	riada	6	riada	6	riada	6	riada	6

Os resultados indicam café de qualidade e tipo inferior, desta forma não atingi o melhor preço de venda.

A despeita dos resultados obtidos, a região se caracteriza pela produção de café de baixa qualidade, apesar de se tratar da localidade com maior produção na região

oeste do Estado do Paraná. DAL MOLIN (2005), em trabalho onde fez-se colheita seletiva na fase de cereja e secagem ao sol com revolvimento a cada 40 minutos, obteve bebida apenas mole e dura, considerada de boa aceitação.

As condições climáticas contribuíram negativamente para a qualidade produto, uma vez que, nesta safra, houve a ocorrência de chuvas intensas em período muito prolongado, na época da colheita, com a agravante de ter ocorrido à falta de chuvas durante a etapa da floração do café.

Segundo o IBC (1985), a qualidade e tipo de grãos de café, não estão ligados somente ao manejo pós-colheita, mas a uma série de fatores que podem influenciar na qualidade final do produto.

### 4.3 PARÂMETROS RELATIVOS A TEMPERATURA DO AR NO SECADOR

#### 4.3.1 Temperatura do Ar no Secador

A temperatura média do ar de secagem foi de  $45,17 \pm 2^{\circ}\text{C}$ . A redução térmica, nas diversas partes do equipamento foi gradativa, isso devido à perda de energia em forma de calor sensível (preponderantemente) do sistema para o ambiente, conforme explica Dios (1996). Essa perda de calor é ocasionada toda vez que há diferença de temperatura em um meio (BORÉM, 2002), conforme pode ser observado na Figura 18.

A diferença de temperatura entre o duto de ligação e o ar de secagem na câmara de secagem foi de 53,44 °C, ocasionando uma perda de 54,6 % de calor para o ambiente.

A temperatura no *plenum* manteve-se entre 72,58 a 79,85°C, sendo considerada temperatura estável, quando comparada, com a temperatura obtida por Reinato et al. (2002), em secador horizontal rotativo (usando lenha), que variou freqüentemente entre 35 a 82 °C.

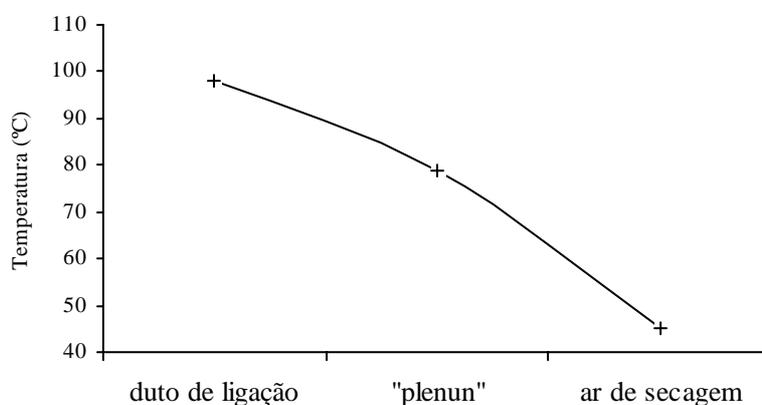


Figura 18. Diferença da média de temperatura entre o duto de ligação, “*plenum*” e ar de secagem de todos os tratamentos.

#### 4.4 USO DE ENERGIA

##### 4.4.1 Consumo de Energia Elétrica do Ventilador e Revolvedor.

Na Tabela 8, foi apresentada uma análise do consumo médio de energia, somente elétrica, para cada tratamento. Observa-se que, o tratamento SVRC, onde o

motor responsável pelo sistema de revolvimento se manteve operando continuamente, o consumo de energia elétrica foi 28,5% maior que o tratamento SVCR2, que consumiu 22,06 kWh, e foi o segundo em consumo. Interessante observar que, estatisticamente, não houve diferenças significativas entre os tratamentos SVCR2 a SVCR3.

A título de exemplo, o custo do kWh, para a região de Jesuítas, para o período diurno no meio rural, é de R\$ 0,185. Desta forma, o revolvimento contínuo, apresenta, em média, um custo adicional de R\$ 5,71 reais a mais para cada lote a ser secado. Numa análise econômica mais detalhada, seria necessário também, considerar o valor da depreciação do equipamento, devido às horas adicionais de utilização.

Tabela 8. Consumos médios de energia elétrica do sistema de revolvimento e do ventilador; tempo de duração dos revolvimentos; tempo de funcionamento do ventilador e média do consumo total.

Tratamentos	Energia somente para Sistema de Revolvimento		Energia somente para Ventilador		Tempo de secagem (h)	Média do consumo total (kWh)*
	Tempo (h)	Consumo (kW h)**	Tempo (h)	Consumo (kW h)**		
SVRC	10,50	15,44	10,50	15,44	10,50	30,87 a
SVCR1	3,83	5,63	9,00	13,23	9,00	18,87 b
SVCR2	3,49	5,14	11,50	16,91	11,50	22,06 b
SVCR3	2,16	3,18	9,5	13,97	9,5	17,11 b

\* Médias seguidas da mesma letra em cada coluna não diferem estatisticamente (Tukey 5%).

\*\*Estimado a partir da equação 1.

#### 4.4.2 Tipo de Combustível e Quantidade Utilizada

Na Tabela 9 foi apresentado o consumo de combustível para o aquecimento do ar de secagem. Como a fornalha utilizada no experimento foi de fogo indireto, com trocador de calor, o secador apresentou um consumo de energia relativamente alto, quando comparado com secador de camada fixa, que utiliza fornalha com fogo direto. Para realização do experimento o combustível utilizado foi à madeira de Eucalipto, com poder calorífico inferior de 15,27MJ e umidade de 13,7% b.u.

Tabela 9. Consumo total de combustível entre os tratamentos e média do consumo total de lenha.

Tratamentos	Consumo de lenha (kg)	Média total do consumo de lenha para cada tratamento (kg)
SVRC	1110	277,50 a
SVCR1	1057	264,25 a
SVCR2	1028	257,00a
SVCR3	833	208,25 b

Médias seguidas da mesma letra em cada coluna não diferem estatisticamente (Tukey 5%).

No tratamento SVCR3, onde ocorreram os maiores intervalos de tempo sem revolvimento, observou-se o menor consumo de lenha, para manutenção da mesma temperatura de secagem. Isto ocorreu, provavelmente, devido à tendência de maior aquecimento da camada de café, uma vez que este foi relativamente menos revolvido, com conseqüente menor desobstrução à passagem do ar, ou seja, menor redução da pressão estática, promovendo aquecimento da massa de produto.

Sobrinho et al. (2003), realizando estudos em secador horizontal rotativo com fornalha de fogo indireto, com valores próximos da temperatura do ar ambiente e com a umidade relativa do ar encontrava-se abaixo da verificada neste experimento, e o PCI da lenha de eucalipto de 13,04 MJ e consumo médio de 2355,66 kg de lenha, para reduzir o teor de umidade dos grãos de café de 38% para 11,3% b.u., de uma massa média 6825 kg.

Dios (1996) explica que vários fatores podem influenciar no consumo de combustível de um sistema de secagem, como por exemplo: Temperatura ambiente, umidade relativa do ar ambiente, sistema de fornalha (com trocador de calor ou sem trocador de calor), modelo de secador, entre outros. O autor ressalta que a quantidade de combustível empregada em um secador varia de um combustível para outro e depende de fatores como: umidade inicial do produto, temperatura de secagem empregada, entre outros.

Na Figura 19, observa-se, que a quantidade de energia consumida na forma de calor é superior a quantidade de energia consumida na forma de eletricidade.

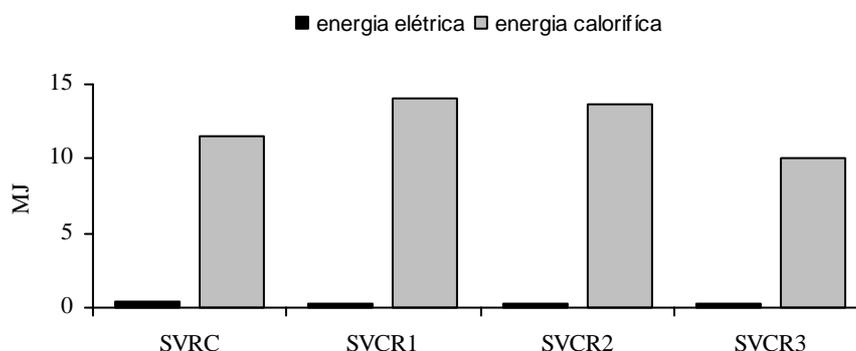


Figura 19. Relação entre a quantidade de combustível consumida na forma de lenha e a quantidade de combustível consumida na forma de energia elétrica.

## 4.5 DESEMPENHO DO SECADOR

### 4.5.1 Capacidade de Secagem

A capacidade de secagem é a quantidade de produto úmido ou seco em metros cúbicos processado por hora. Na Tabela 10, pode-se verificar uma variação entre a capacidade de secagem úmida e capacidade de secagem seca. No entanto, esses valores não foram significativos entre os tratamentos.

Tabela 10. Capacidade de secagem de produto úmido e de produto seco

Tratamentos	Capacidade de secagem de produto úmido ( $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$ )	Capacidade de secagem de produto seco ( $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$ )
SVRC	137,45 a	100,40 a
SVCR1	163,33 a	128,33 a
SVCR2	125,60 a	95,36 a
SVCR3	152,71 a	115,84 a

Médias seguidas da mesma letra em cada coluna não diferem estatisticamente (Tukey 5%).

### 4.5.2 – Eficiência Energética

Apesar das diferenças apontadas na Tabela 9, é interessante observar que, a eficiência energética entre os tratamentos, não apresentou diferença significativa como pode ser observado na Tabela 11.

Tabela 11. Eficiência energética em MJ kg<sup>-1</sup> de água evaporada e eficiência energética em (%) entre os tratamentos.

Tratamentos	Eficiência energética MJ kg <sup>-1</sup> de água evaporada (SILVA et al., 1992)	Eficiência energética (%) (DIOS, 1996)
SVRC	11,47 a	12,84 a
SVCR1	14,07 a	11,88 a
SVCR2	13,65 a	13,66 a
SVCR3	10,03 a	13,89 a
Média	12,30	13,06

\* Médias seguidas da mesma letra em cada coluna não diferem estatisticamente (Tukey 5%).

A média da eficiência energética (equação proposta por SILVA et al., 1992) foi de 12,30 MJ kg<sup>-1</sup> de água evaporada para os tratamentos. Campos et al. (1999-b) obtiveram uma eficiência energética, em secador de camada fixa, com fornalha também de fogo indireto, de 16,78 MJ kg<sup>-1</sup> de água evaporada, reduzindo a umidade inicial de 43,1% b.u. para 11,7% b.u. Já Lacerda Filho (1986), em experimento com meia seca em terreiro e utilizando um secador de camada fixa, de fornalha com fogo direto, cuja eficiência sempre é maior, obteve eficiência energética de 10MJ kg<sup>-1</sup> de água evaporada, porém, a temperatura de secagem foi de 55°C. Já SOBRINHO et al. (2003), obteve uma eficiência energética de 16,9MJ kg<sup>-1</sup> em secador rotativo horizontal com fornalha de fogo indireto e poder calorífico da lenha de 13,04 MJ kg<sup>-1</sup>.

Pela equação proposta por DIOS (1996) (Equação 04), o secador analisado apresentou uma eficiência energética de 13,09%, indicando que 86,91% da energia consumida do combustível se perdeu. Torna-se oportuno mencionar que, o baixo rendimento apresentado pelas fornalhas de fogo indireto tem motivado pesquisadores a desenvolver e adaptar novos sistemas de aquecimento visando minorar as perdas

energéticas para o ambiente. SILVA et al. (2004), por exemplo, analisando a utilização de gaseificador em secador de camada fixa, com câmaras de secagem dotadas de movimentação e içadas por um sistema de roldanas e cabos, com aquecimento do ar por fogo indireto, obtiveram eficiência energética de 76%, utilizando tacos de eucalipto como combustível. O produto a ser secado foi café despulpado com teor de umidade inicial de 54,4%. Esse sistema apresentou uma eficiência de 61,9% superior em relação ao secador apresentado neste trabalho.

No entanto, para o modelo de secador analisado no presente estudo, recomenda-se a utilização do sistema revolvimento acionado a intervalos de três horas, como no tratamento SVCR3. Este tratamento, mesmo não apresentando diferença de eficiência energética significativa em relação aos demais tratamentos, obteve menor consumo de energia elétrica e de lenha.

## 5 CONCLUSÕES

Neste sistema de secagem o fluxo de ar teve diferença estatística significativa, no entanto, não influenciou a temperaturas do ar de secagem.

A eficiência energética não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos, tendo média geral de  $12,30 \text{ MJ kg}^{-1}$  de água evaporada.

Este sistema de secagem teve uma perda energética de 86,91% .

A qualidade dos grãos de café foi inferior para a comercialização, não havendo diferença entre os tratamentos.

Para o modelo de secador analisado recomenda-se a utilização do sistema de revolvimento a intervalos de três horas com ventilação e secagem contínuas, uma vez que não foram observadas diferenças na qualidade final do produto em análise sensorial.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, J.G. **Recomendações básicas para a produção de um café de qualidade.** Guaxupé: COOXUPÉ, 1997. 17p. (Boletim Técnico).
- BARTHOLO, G.F.; GUIMALHÃES, P.T.G. Cuidados na colheita e preparo do café. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.18, n.187, p.33-42, 1997.
- BAKKER-ARKEMA, F.W.; LEREW, L.E.; BROKK, R.C.; BROOKER, D.B. Energy and capacity performance evaluation of grain dryers. St. Joseph, Michigan, **ASAE**, 1978. 13p. (ASAE Paper, 78-3523).
- BERBERT, P.A.; QUEIROZ, D.M.; SILVA, J.S.; PINHEIRO FILHO, J.B. Drying of coffee (*Coffea arabica* L.) in a fixed bed with a simulated periodic airflow reversal. **Journal of Agricultural Engineerin Rseeach**, (1994) 59, 195-202.
- BIAGI, J.D.; VALENTINI, S.R.T.; QUEIROZ, M.D. Secagem de produtos agrícolas. In: CORTEZ, L.A., MAGALHÃES, P.S.G. (Coord.). **Introdução à Engenharia Agrícola.** Campinas: Ed. UNICAMP, 1992, p.245-266.
- BORÉM, F.M.; RIBEIRO, R.C.M.; CORREIA, P.C.; PEREIRA, R.G.F.A. Propriedades térmicas de cinco variedades de café cereja descascado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.6, n.3, p.475-480, 2002.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes (RAS)**, Brasília, 1992. 365p.
- BROOKER, D.B.; BARKKER-ARKEMA, I.W.; HALL, C.W. **Dryng cereal grains.** Conneceticut, the AVI Publishing, 1979. 269p.
- CAMPOS, A.T. **Desenvolvimento e análise de um protótipo de secador de camada fixa para café (*Coffea arábica* L.), com revolvimento mecânico.**1998. 61f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1998.

CAMPOS, A.T.; MELO, E.C.; SILVA, J.S.S. Gradiente de teor de umidade desenvolvido em secador de camada fixa para café. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, v.24, n.2, p.37-41, 1999-a.

CAMPOS, A.T.; MELO, E.C.; SILVA, J.S.S.; BERBERT, P.A. Projeto, construção e análise de um protótipo de secador de camada fixa para café (*Coffea arabica L.*), com sistema de revolvimento mecânico. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.7, n.2, p.88-105, 1999-b.

CARVALHO, V.D.; CHALFOUN, S.M. Aspectos qualitativos do café. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.1, n.126, p.79-92, 1985.

CASTRO, L.E. **Efeito do despulpamento em secador de leito fixo sob alta temperatura, no consumo de energia e na qualidade do café (*Coffea arabica L.*)**. 1991. 61f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1991.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DO ABASTECIMENTO. **Indicadores da Agropecuária**. Brasília, 2002.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DO ABASTECIMENTO. **Previsão e acompanhamento de safra**. Brasília, 2004. 7p.

CORDEIRO, J.A.B. **Influência da temperatura e do tempo de repouso na secagem de café (*Coffea arábica L.*) em camada fixa**. 1982. 60f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1982.

CORDEIRO, J.A.B.; SILVA, J.S.; DALPASQUALLE, V.A.; COELHO, D.T. Influência da temperatura e tempo de repouso na secagem de café (*Coffea arábica L.*) em camada fixa. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, v.8, n.1 e 2, p.18-21, 1983.

DALPASQUALLE, V.A. Secagem de grãos com ar natural: uma opção pouco utilizada no Brasil. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.9, n.99, p.06-07, 1983.

DALPASQUALLE, V.A.; PEREIRA, J.A.M.; SINICIO, R.; OLIVEIRA FILHO, D. **Secado de granos a altas temperaturas**. Santiago, Chile: Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. 1991. 75p.

DAL MOLIN, R.N. **Caracterização de grãos e bebida do café produzido nas condições topoclimáticas de Jesuítas-Pr**. 2005. 66f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal C. Rondon, 2005.

DIOS, C.A. **Secado de granos y secadoras**. Santiago, Chile: Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. 1996. 314p.

DORFMAN, E.; WIRTH, H.G.; MEJÍA, G. R. Pré-Secagem de café em barçaça com utilização de energia solar. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, v.6, n.1, p.25-35, 1981.

FURTADO, C. **Formação Econômica do Brasil**. 24.ed. São Paulo: Editora Nacional, 1991, 228p.

GRECO, M.; CAMPOS, A.T.; DAL MOLIN, R.N.; OLIVEIRA, M.C.; CÂMARA, R.J.; SIQUEIRA FILHO, R.; KLEIN, J. Estudo da eficiência de secagem de café com diferentes combinações de tempo de revolvimento. In: ENCONTRO INTERNACIONAL DE ENERGIA NO MEIO RURAL E GERAÇÃO DISTRIBUÍDA, 5., 2004, Campinas. **Anais (CD-Room)**. Campinas: UNICAMP, 2004.

GUARÇONI, R.C.; SILVA, J. N.; FONSECA, A.F.A.; SILVEIRA, J. S. M. Influência de distintos porcentuais de frutos colhidos verdes no rendimento do café Conilon. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.17, n.3, p.105-109, 1998.

IBC - INSTITUTO BRASILEIRO DO CAFÉ. **Cultura de Café no Brasil**: Manual de recomendações. 5 ed. Rio de Janeiro, Gráfica IBC – GERCA, 1985. 580p.

INCOPERA, F.P.; DE WITT, D.P. **Fundamentals of heat and mass transfer**. New York: John Wiley & Sons, 1996. 886p.

LACERDA FILHO, A.F.; QUEIROZ, D.M.; ROA, G. Avaliação experimental de secador comercial intermitente de arroz. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, v.7, n.1, p.39-49, 1982.

LACERDA FILHO, A.F. **Avaliação de diferentes sistemas de secagem e suas influências na qualidade do café (*Coffea arabica L.*), com revolvimento mecânico**. 1986. 136f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1986.

LOPES, R.P.; SILVA, J.S.; RUFATO, S.; SENA JR., D.G. Consumo de energia em dois sistemas de secagem de café. **Ciências e Agrotecnologia**, Lavras, v.26, p.1266-1274, 2002.

MONTEIRO J.A. **A Geração de Tecnologia Agrícola no Brasil: Ação e Interação de Grupos de Interesse**. São Paulo: Instituto de Pesquisa Econômico, 1985, 170p.

MOREY, R.V.; CLOUD, H.A.; LUESCHEN, W.E. Practices for the efficient utilization of energy for drying corn. **Transaction of the ASAE**, p.151-155, 1976.

NELLIST, M.E.; BRUCE, D.M. Grain dryer testing-procedure, calculation and adjustment of results, and effect of errors. **Journal of Agricultural Engineering Research**, Silsoe Research Institute, v.52, n.1, p.35-51, 1992.

NELLIST, M.E.; BRUCE, D.M. Heated-air grain drying. In: JAYAS, D.S.; WHITE, N.G.; MUIR, W.E. (ed). **Etored-grain ecosystems**. Marcel Dekker, New York, 1995 p.609-659.

ORMOND, J.G.P.; PAULA, S.R.L.; FILHO, P.F. Café (re)conquista do mercado. **BNDS Setorial**, Rio de Janeiro, n.10, p.03-56, 1999.

OSÓRIO, A.G.S. **Projeto e construção de um secador intermitente de fluxo concorrente e sua avaliação na secagem do café**. 1982, 57f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa,1982.

PINTO FILHO, G.L. **Desenvolvimento de um secador de fluxo cruzado com reversão do fluxo de ar de resfriamento para a secagem de café (*Coffea arábica L.*)**. 1994. 80f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1994.

REINATO, C.H.R.; BORÉM, F.M.; VILELA, E.R.; CARVALHO, F.M.; MEIRELES, E.P. Consumo de energia e custo de secagem de café cereja em propriedades agrícolas do sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, n.1, p.112-116, 2002.

ROSSI, S.J.; ROA, G. **Secagem e armazenamento de produtos agropecuários com uso de energia solar e ar natural**. Secretaria da Indústria, Comércio, Ciências e Tecnologia. Academia de Ciências do Estado de São Paulo. Publicação ACIESP n.22, 1980. 295 p.

SABIONI, P.M. **Projeto e avaliação de um secador de fluxo cruzado, intermitente e com reversão do fluxo de ar, na secagem de milho (*Zea mays L.*)**. 1986. 101f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1986.

SEAB/DERAL - SECRETARIA DA AGRICULTURA E ABASTECIMENTO DO PARANÁ / DEPARTAMENTO DE ECONOMIA RURAL. **Indicadores de Produtividade**, Paraná, 2004. Disponível em: <<http://www.pr.gov.br/seab.htm>>. Acesso em 10 nov. 2004.

SEARS, F.W.; ZEMANSKI, M.W.; YOUNG, H.D.; FREEDMAN, R.A. **Física Universitária**. v. 1. Adilson – Wesley. Iberoamericano, 1996.

SILVA, J.S.; LACERDA FILHO, A.F.; DALPASQUALE, V.A.; Métodos de secagem e secadores. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.9, n.99, p.03-05, 1983.

SILVA, J.S.; HARA, T.; LACERDA FILHO, A.F.; MELO, E.C.; CORRÊIA P.C.; DONZELES, S. Alternativas tecnológicas para secagem e armazenamento de grãos. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA NA UFV, 1990, Viçosa. **Anais**. Viçosa: UFV, 1990.

SILVA, J.S.; PINTO, F.A.C.; AFONSO, A.D.L. Desempenho de secadores e custo de secagem. **Séries Caderno Didático**, Viçosa, v.2, n.4, 18p., 1992.

SILVA, J.N.; SOBRINHO, J.C; SAIKI, E.T. Utilização de biomassa na secagem de produtos agrícolas via gaseificação com combustão adjacente dos gases produzidos. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.24, n.2, p.405-411, 2004.

SOBRINHO, J.C.; SILVA, J.N.; LACERDA FILHO, A.F. Secadores rotativos horizontais e verticais de fluxos cruzados na secagem de café: análise energética e de qualidade. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.23, n.2, p.388-394, 2003.

STEFANINI, R.; ROA, G. Algoritmo geral para a determinação do calor latente de vaporização da água dos produtos biológicos. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, v.5, n.1,p.30-42, 1980.

STRENGER, R.G. Lei da oferta e procura? **Jornal Coffee Business**, v.9, n.512, p.3, 2001.

## APÊNDICE

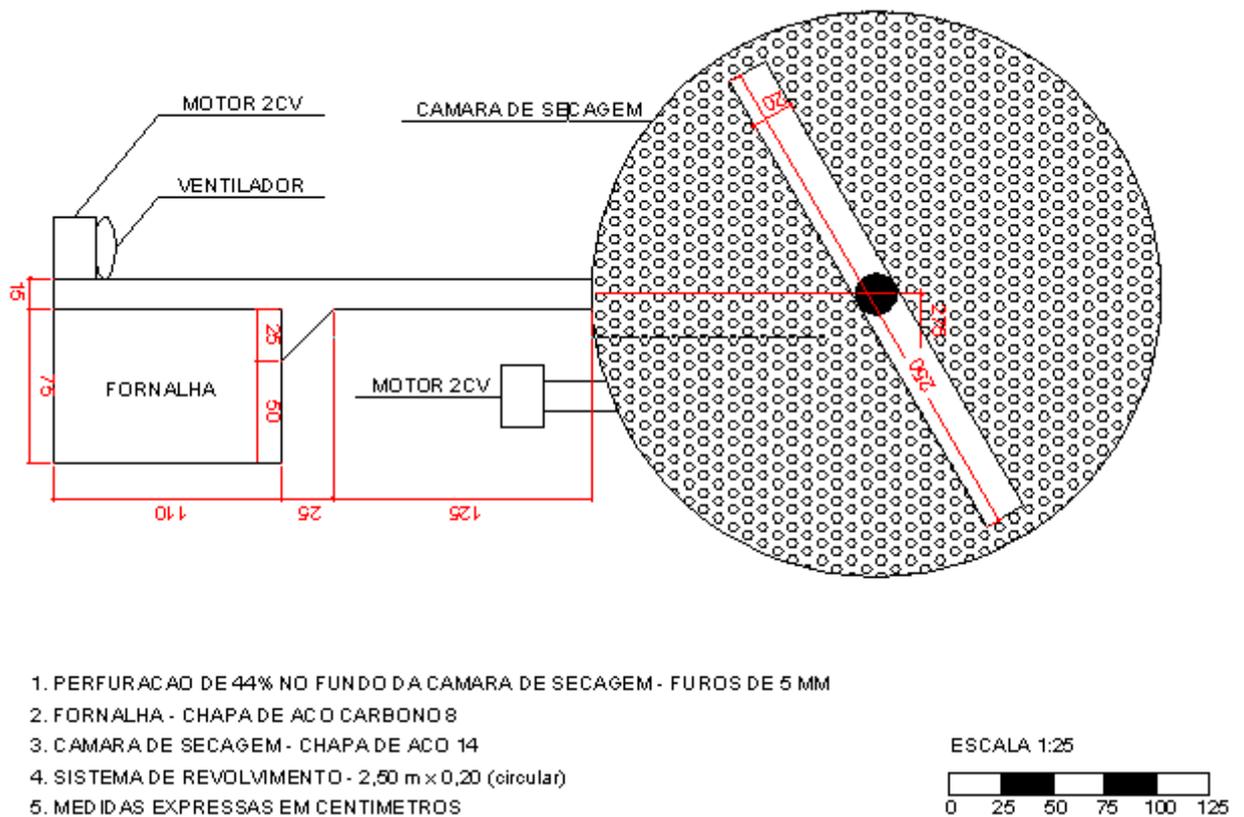


Figura 1A. Planta baixa do secador.

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)  
(Biblioteca da UNIOESTE – Campus de Marechal Cândido Rondon – PR., Brasil)

G791a	Greco, Marcelo Avaliação de diferentes combinações de tempo de revolvimento, em secador de camada fixa para café / Marcelo Greco. - Marechal Cândido Rondon, 2006 55 p.  Orientador: Prof. Dr. Alessandro Torres Campos  Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Marechal Cândido Rondon, 2006.  1. Café - Secagem. 2. Café - Instalações para o preparo. 3. Café - Eficiência energética na secagem. I. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. II. Título.  CDD 21.ed. 633.73 CIP-NBR 12899
-------	---

Ficha catalográfica elaborada por Marcia Elisa Sbaraini Leitzke CRB-9/539