

ALESSANDRO TORRES CAMPOS

**DESENVOLVIMENTO E ANÁLISE DE UM PROTÓTIPO DE SECADOR
DE CAMADA FIXA PARA CAFÉ (*Coffea arabica* L.), COM SISTEMA
DE REVOLVIMENTO MECÂNICO**

Tese apresentada à Universidade Federal
de Viçosa, como parte das exigências do
curso de Engenharia Agrícola, para obtenção
do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
MARÇO – 1998

Aos meus pais João e Terezinha.
Aos meus irmãos Aloísio, Elizabeth,
Elaine e Adilson.
À minha esposa Andréia e
à minha filha Vanessa.

AGRADECIMENTO

À minha esposa Andréia, pela paciência, pelo carinho, pelo estímulo e pela compreensão.

Aos meus pais João Sebastião de Campos e Terezinha Torres Campos, pelo exemplo de vida.

À Universidade Federal de Viçosa e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pela oportunidade de realizar este curso.

Ao Professor Juarez de Sousa e Silva, pela orientação no decorrer deste trabalho.

Ao Professor Evandro de Castro Melo, pela orientação, pela dedicação e pelo estímulo.

Ao Professor Pedro Amorim Berbert, pelas eficientes sugestões, pelo aconselhamento e pelo estímulo.

Aos Professores Daniel Marçal de Queiroz e José Helvécio Martins, pelas valiosas sugestões apresentadas.

Ao meu irmão Aloísio Torres de Campos e à colega de curso Iracema Duval da Silva, pela ajuda na obtenção dos dados e pelo estímulo durante o curso.

Aos meus cunhados João Batista Mattioli e Fernando Antônio Unes Tiele (*in memoriam*), pela amizade e pelo estímulo à realização deste curso.

Aos funcionários do Setor de Armazenamento, Sebastião Jorge Rodrigues (Catitú), Antônio (Inhame), José Eustáquio Diogo e José Raimundo (Zé Baixinho), pelo auxílio na construção do secador.

Ao Grupo Gravatá Agropecuária Ltda., por ceder o café utilizado no experimento.

Aos colegas Jairo, Jackson, Sebastião, José Modesto, Rildo e Gerson, pelo auxílio, pela amizade sincera e pela convivência alegre.

Aos amigos e professores do Departamento de Engenharia Agrícola e a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

ALESSANDRO TORRES CAMPOS, filho de João Sebastião de Campos e Terezinha Torres Campos, nasceu em Lavras, Minas Gerais, em 27 de março de 1970.

Em agosto de 1990, ingressou no curso de Engenharia Agrícola, na Universidade Federal de Lavras, concluindo-o em julho de 1995.

Em agosto de 1995, ingressou no curso de Mestrado em Engenharia Agrícola, na Universidade Federal de Viçosa.

Em 17 de dezembro de 1997, submeteu-se à defesa de tese, logrando aprovação.

CONTEÚDO

LISTA DE QUADROS.....	viii
LISTA DE FIGURAS.....	x
LISTA DE SÍMBOLOS.....	xii
EXTRATO.....	xiv
ABSTRACT.....	xvi
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1. O café	4
2.2. Teor de umidade dos grãos.....	9
2.3. Secagem de grãos	10
2.4. Secagem em terreiro.....	11
2.5. Uso de secadores mecânicos	12
2.6. Avaliação de secadores	17
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	21
3.1. O protótipo	21
3.2. Avaliação do desempenho do secador	27
3.2.1 Parâmetros relativos aos grãos.....	27
3.2.2. Parâmetros relativos ao ar.....	29

3.2.3. Consumo de energia.....	30
3.3. Especificações do secador.....	31
3.4. Operação do Secador.....	33
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	34
4.1. Temperaturas e umidade relativa	34
4.2. Teores de umidade	37
4.3. Uso da energia.....	44
4.4. Qualidade do produto.....	44
5. RESUMO E CONCLUSÕES	46
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48
APÊNDICES	52
APÊNDICE A.....	53
APÊNDICE B.....	55
APÊNDICE C.....	56
APÊNDICE D.....	58

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classificação oficial de café pela bebida.....	8
Quadro 2 – Parâmetros e especificações do secador requeridos para a avaliação do desempenho	20
Quadro 3 – Relação dos termopares e sua localização no secador.....	29
Quadro 4 – Parâmetros relativos aos grãos encontrados no teste do secador	35
Quadro 5 – Parâmetros relativos ao ar ambiente e ar de secagem.....	36
Quadro 6 – Especificações do secador	36
Quadro 7 – Dados do desempenho do secador.....	37
Quadro 8 – Resumo dos resultados da análise sensorial e classificação de café para as quatro câmaras de secagem.....	45
Quadro 1A – Produção mundial de café por continentes e países, 1994- 1997	53
Quadro 2A – Teores de umidade nos diversos tipos de café	54
Quadro 3A – Equivalência dos grãos imperfeitos para a classificação quanto ao tipo	54

Quadro 1B – Tempo de secagem, temperaturas ambiente, do ar de secagem, ar no “plenum”, nas câmaras de secagem, ar de exaustão e umidade relativa do ar ambiente, registradas durante o teste do secador.....	55
Quadro 1C – Teores de umidade encontrados em três profundidades, quatro alturas e três posições dentro da câmara 1, ao final do teste do secador	56
Quadro 2C – Teores de umidade encontrados em três profundidades, quatro alturas e três posições dentro da câmara 2, ao final do teste do secador.....	56
Quadro 3C – Teores de umidade encontrados em três profundidades, quatro alturas e três posições dentro da câmara 3, ao final do teste do secador.....	57
Quadro 4C – Teores de umidade encontrados em três profundidades, quatro alturas e três posições dentro da câmara 4, ao final do teste do secador.....	57
Quadro 1D – Análise sensorial e classificação do café (amostra da câmara 1)	58
Quadro 2D – Análise sensorial e classificação do café (amostra da câmara 2)	59
Quadro 3D – Análise sensorial e classificação do café (amostra da câmara 3)	60
Quadro 4D – Análise sensorial e classificação do café (amostra da câmara 4)	61

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Distribuição percentual da energia utilizada na produção de grãos na região centro-oeste dos Estados Unidos	11
Figura 2 – Esquema do protótipo do secador.	22
Figura 3 – Vistas posterior, lateral e frontal da câmara de secagem, com suas dimensões.	23
Figura 4 – Corte transversal A A' do secador.	24
Figura 5 – Vista superior do sistema de secagem.	25
Figura 6 – Corte B B'	25
Figura 7 – Esquema mostrando os pontos de amostragem nas câmaras de secagem.....	28
Figura 8 – Esquema do posicionamento dos termopares no secador.	28
Figura 9 – Variação das temperaturas do ar ambiente, do ar de secagem, do ar nos grãos, do ar de exaustão e do ar no “plenum” (P1), em função do tempo (câmara 1).	38
Figura 10 – Variação das temperaturas do ar ambiente, do ar de secagem, do ar nos grãos e do ar no “plenum” (P1), em função do tempo (câmara 2).	38
Figura 11 – Variação das temperaturas do ar ambiente, do ar de secagem, do ar nos grãos, do ar de exaustão e do ar no “plenum” (P2), em função do tempo (câmara 3).	39

Figura 12 – Variação das temperaturas do ar ambiente, do ar de secagem, do ar nos grãos e do ar no “plenum” (P2), em função do tempo (câmara 4).	39
Figura 13 – Esquema mostrando os locais de amostragem de café dentro das câmaras de secagem, para avaliação dos gradientes de teor de umidade.....	40
Figura 14 – Gradiente de teor de umidade formado na câmara de secagem 1, nas alturas de 10, 40, 70 e 100 cm.	42
Figura 15 – Gradiente de teor de umidade formado na câmara de secagem 2, nas alturas de 10, 40, 70 e 100 cm.	42
Figura 16 – Gradiente de teor de umidade formado na câmara de secagem 3, nas alturas de 10, 40, 70 e 100 cm.	43
Figura 17 – Gradiente de teor de umidade formado na câmara de secagem 4, nas alturas de 10, 40, 70 e 100 cm.	43

LISTA DE SÍMBOLOS

EM = energia consumida pelo motor, kJ

PM = potência do motor, cv

tf = tempo de funcionamento do motor, h

EPC = energia proveniente do combustível, kJ

QC = quantidade de combustível, kg

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

PCS = poder calorífico superior do combustível, kJ.kg^{-1}

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

DFar = densidade de fluxo de ar, $\text{m}^3.\text{min}^{-1}.\text{m}^{-2}$

VZar = vazão do ar, $\text{m}^3.\text{min}^{-1}$

As = soma das áreas perfuradas das câmaras de secagem, m^2

VZd = vazão do ar no duto de entrada de ar da fornalha, $\text{m}^3.\text{min}^{-1}$

VFar = velocidade do fluxo de ar, m.min^{-1}

Ad = área do duto de entrada de ar da fornalha, m^2

Cs = capacidade de secagem de produto úmido, kg.h^{-1}

MP = massa de produto úmido, kg

ts = tempo total de operação do secador, h

EES = eficiência energética de secagem, kJ.kg

EC = energia consumida, kJ

Mi = massa inicial do produto, kg

Mf = massa final do produto, kg

b.u. = base úmida.

EXTRATO

CAMPOS, Alessandro Torres, M.S., Universidade Federal de Viçosa, março de 1998. **Desenvolvimento e análise de um protótipo de secador de camada fixa para café (*Coffea arabica* L.), com sistema de revolvimento mecânico.** Orientador: Juarez de Sousa e Silva. Conselheiros: Evandro de Castro Melo e Pedro Amorim Berbert.

Com o objetivo de atender a uma parcela de pequenos e médios produtores de café, foi construído e testado um protótipo de secador de camada fixa com sistema de revolvimento mecânico. No projeto do protótipo buscou-se aliar as vantagens dos secadores de camada fixa comumente utilizados, ou seja, a simplicidade e o baixo custo de construção, à facilidade de promover a operação de revolvimento periódico, peculiar a este tipo de sistema de secagem. O secador foi construído em alvenaria, sendo composto por quatro câmaras de secagem metálicas, dotadas de movimentação e içadas por um sistema de roldanas e cabos de aço. Na operação de secagem utilizada para testar o protótipo, procedeu-se ao revolvimento em duas câmaras, que foram acopladas em diferentes posições ao “plenum” do secador, em intervalos regulares de três horas. As outras câmaras permaneceram estáticas. O secador foi operado com uma temperatura do ar de secagem de 43°C e densidade de fluxo de ar de 21 m³.min⁻¹.m⁻². No teste

realizado, reduziu-se o teor de umidade do produto de 43,1 para 12,7 % b.u., num período de 42 horas. Devido ao fato de se ter utilizado uma fornalha de fogo indireto, com trocador de calor, o secador apresentou elevado consumo específico de energia, se comparado com outros sistemas de secagem em camada fixa, ou seja, 12.752 kJ por kg de água evaporada. Com o intuito de avaliar a homogeneidade de secagem na massa de grãos, ao final do teste foram coletadas amostras de café em 36 posições diferentes, em cada câmara, para determinação do teor de umidade. Com os resultados obtidos, verificou-se que a massa de grãos da câmara 1, a qual sofreu revolvimento, foi a que apresentou menores gradientes de teor de umidade. A câmara de secagem 2, devido ao seu posicionamento, apresentou elevado gradiente de teor de umidade, além de oferecer maior esforço durante a operação de revolvimento. As câmaras 3 e 4, que não foram revolvidas, apresentaram elevados gradientes de teor de umidade ao final do teste.

ABSTRACT

CAMPOS, Alessandro Torres, M.S., Universidade Federal de Viçosa, March 1998. **Development and analysis of a fixed-bed dryer prototype for coffee (*Coffea arabica* L.) with a mechanical revolving system.** Adviser: Jurarez de Sousa e Silva. Committee members: Evandro de Castro Melo and Pedro Amorim Berbert.

Aiming at the attendance of a small and medium size group of coffee producers a fixed-bed dryer prototype with a mechanical revolving system was constructed and tested. In the prototype project an association between the advantages of the fixed-bed dryers commonly used (simplicity and low construction price) and the facilities to promote the periodically revolving operation, which is peculiar to this kind of drying system, was searched. The dryer was constructed with masonry and consisted of four metallic drying chambers provided with movement and hoisted by a pulley and steel cable system. During drying for the prototype test, the revolving operation proceeded in two chambers which were connected to the dryer plenum at different positions and at a regular three-hours intervals; the other chambers remained static. The dryer operated at a drying-air temperature of 43°C and an air-flow of 21 m³.min⁻¹.m⁻². In the realized test the product moisture content was reduced

from 43.1 to 12.7% b.u. over a 42-hours period. Because an indirect-fire furnace provided with heat exchanger was used, the dryer presented a high specific energy consumption when compared to other fixed-bed drying systems, that is 12.752 kJ per kilogram of evaporated water. For evaluating the drying homogeneity in the grain mass, at the end of the test the coffee samples were collected at 36 different positions in each chamber for determination of the moisture content. The obtained results showed that the grain mass of chamber 1 which was submitted to the revolving operation presented the lowest moisture content gradients. Besides to provide greater effort during the revolving operation, the drying chamber 2 presented high moisture content gradient due to its position. The chambers 3 and 4 which were not submitted to the revolving operation presented high moisture gradients at the end of the test.

1. INTRODUÇÃO

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 (GUIMARÃES, 1995).

Apesar do decréscimo da exportação brasileira, o Brasil produziu 27 milhões de sacas de café no ano de 1997 (MORICOCCHI et al., 1997).

Para obtenção de um café com qualidade superior 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 ao cafeicultor (PINTO FILHO, 1994).

Segundo SILVA et al. (1995), é possível produzir café de tipo superior, mesmo em regiões consideradas produtoras de café de baixa qualidade, se forem observadas as técnicas de colheita, preparo e secagem e as técnicas agrônômicas. Na maioria das regiões brasileiras, durante a colheita, o produto apresenta-se heterogêneo quanto à maturidade e ao teor de umidade. Isto leva a duas maneiras distintas de preparar o café, ou seja, via úmida, que produz café “despolpado” ou

apenas “descascado”, e via seca, que produz café “coco”. Os mesmos autores ressaltam que, embora o Brasil seja conhecido como produtor de café “não lavado”, nada impede que seus agricultores possam desenvolver condições para produzir café despulpado e de boa qualidade. Atualmente vem crescendo o número de produtores de café “descascado”, o que colocará o Brasil, em futuro próximo, como produtor de café com verdadeiro aroma natural.

A boa qualidade do café, principalmente em relação à bebida, constitui um dos problemas básicos da cafeicultura nacional. Como este aspecto influi diretamente no custo final do produto, em 30 de agosto de 1966 o Conselho Internacional do Café nomeou um grupo de trabalho para estudar a adoção de um código internacional de normas de qualidade aplicáveis às exportações de café, baseando-se em fundamentos científicos (SILVA et al., 1995).

No Brasil, o processo de secagem artificial teve maior impulso somente a partir da última década, com o aparecimento dos secadores de grande porte. Antes, a quase totalidade dos produtos agrícolas era seca no próprio campo ou em terreiros expostos diretamente à radiação solar, onde o produto é revolvido periodicamente, a fim de acelerar o processo.

Segundo BROOKER et al. (1978), o desenvolvimento dos sistemas de secagem, desde 1950, tem sido mais um processo de evolução do que de revolução.

Na secagem em terreiros, além de o produto ficar exposto à ação de agentes biológicos e a condições climáticas adversas, o tempo de secagem requerido é maior que na secagem artificial. Esse tempo é de extrema importância, pois possibilita sincronizar a colheita com a secagem, o que facilita o processamento, evitando a deterioração do produto (SILVA et al., 1990).

Apesar de novas tecnologias de secagem e de vários tipos de secadores à disposição dos agricultores, a secagem em terreiros ainda é muito utilizada no Brasil, principalmente nas zonas agrícolas onde se concentra o produtor de média e baixa renda. Por outro lado, os equipamentos de secagem disponíveis no Brasil apresentam, em geral, baixa eficiência de secagem, porque não são projetados para café e, geralmente, são de custo mais elevado, incompatível com o poder

aquisitivo do pequeno e médio produtor rural. Além desses aspectos, deve-se levar em consideração o nível educacional desses produtores, que, apesar de serem responsáveis pela maior parte da produção brasileira de café, normalmente são resistentes a inovações tecnológicas (ROSSI e ROA 1980; SOARES et al., 1983).

Tendo em vista os problemas existentes durante a secagem dos grãos em terreiro, a secagem artificial, em secadores mecânicos, é atualmente um procedimento de fundamental importância para o produtor de grãos. LACERDA FILHO (1986) afirma que, de modo geral, os secadores de leito fixo são os mais acessíveis aos produtores, em função principalmente de seu custo, apesar de apresentarem elevado consumo de energia. Outro problema destes secadores é a dificuldade de revolvimento, sendo esta operação realizada manualmente, utilizando-se uma pá.

Em virtude dos problemas enumerados, o presente trabalho teve como objetivos: o projeto, a construção e a avaliação do desempenho de um secador para café de camada fixa e com sistema de revolvimento.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. O café

O café movimenta atualmente mais de US\$40 bilhões no mercado mundial, sendo uma importante atividade para a geração de emprego e renda em muitos países. Estima-se que mais de 20 milhões de pessoas no mundo dependem diretamente desta atividade para a sua sobrevivência econômica (MORICOCCHI et al., 1997).

A produção mundial de café foi de 100,5 milhões de sacas em 1996, 11,8% superior em relação a 1995 (89,907 milhões de sacas). A América do Sul, com Brasil e Colômbia somados, responde por mais de 37,8% da produção, sendo a principal região produtora. A América Central e do Norte e África e Ásia apresentaram em 1996 produção oscilando em torno de 18,6% e 19,7% do total (Quadro 1A).

Dentre os produtos agrícolas brasileiros, poucos têm seu preço vinculado a parâmetros qualitativos, e, dentre estes, ressalta-se o café, cujo valor é acrescido significativamente com a melhoria da qualidade, a qual é também um fator limitante para a exportação (CARVALHO et al., 1997).

Como cultura tipicamente tropical, o café encontra no Brasil condições climáticas favoráveis ao seu desenvolvimento, sendo o seu cultivo comparado a outras culturas, restrito a algumas regiões do mundo. Dessa maneira, é de se esperar que haja pouca contribuição de outros países em pesquisas ou resultados que possam facilitar o seu estudo mais aprofundado (SOARES et al., 1983).

O café é um produto agrícola que requer um cuidado todo especial no seu preparo, a fim de que sejam preservadas as suas qualidades. Da colheita ao benefício, o preparo do café envolve um sem número de operações, de cuja execução racional depende a obtenção de um produto que reúna as características, de tipo e de qualidade, exigidas para a sua boa comercialização. Com um café de boa qualidade, o cafeicultor tem as seguintes vantagens (INSTITUTO BRASILEIRO DO CAFÉ, 1985):

a) Maior facilidade na colocação do produto, tanto no mercado interno, como, principalmente, no mercado externo.

b) Obtenção de preços mais elevados por saca.

A maturação do café se dá em fins de março e começo de abril e se prolonga por um período variável, segundo as condições em que se verificou a floração (GODOY JÚNIOR e GRANER, 1967). Entretanto, o período de colheita varia de região para região, em função da altitude, da latitude e das condições climáticas locais. Quanto maior a altitude e menor a temperatura numa mesma latitude, mais retardada será a maturação. A ocorrência da estação chuvosa durante a fase de maturação também prolonga o período de colheita (IBC, 1985).

O processo de colheita mais generalizado em todo o Brasil é o da derriça ao chão, em que os frutos são derrubados diretamente no chão previamente limpo. O processo consiste das seguintes fases (GODOY JÚNIOR e GRANER, 1967):

- Coroação ou arruação: operação de limpeza do chão embaixo da saia e nas imediações do cafeeiro, de modo a facilitar o levantamento do produto colhido e evitar que o café se misture com os detritos vegetais.

- Varrição: consiste no levantamento do café seco caído naturalmente, no período que vai da arruação à derriça.
- Derriça: consiste em envolver o ramo com a mão e deslizá-la em seguida, de dentro para fora, pela parte que contenha frutos. Como a maturação não é uniforme, obtém-se desse modo um produto que é a mistura de frutos maduros, verdes e secos, além de folhas e gravetos que se destacam, terra, pedras e alguns frutos secos que possam estar no chão.
- Rastelação: levantamento, por rastelos ou vassouras, da mistura das frações referidas anteriormente.
- Abanação: eliminação das impurezas por meio de peneiras, para em seguida proceder ao ensacamento.
- Esparramação: consiste em desfazer as leiras e distribuir o cisco pela superfície.

Há também o processo de derriça ao pano, em que o café é derrubado em panos ou plásticos previamente colocados sobre o chão, a fim de evitar o contato do mesmo com a terra. Com esse tipo de colheita evitam-se impurezas como pedras e torrões e também o contato com os grãos de café caídos anteriormente, que, provavelmente, estariam deteriorados pelo contato prolongado com o chão (IBC, 1985; CARVALHO e CHALFOUN, 1985).

Segundo o IBC (1985), a colheita também pode ser realizada a dedo ou mecanicamente.

A colheita dos frutos a dedo ou em cestos é a operação na qual são colhidos somente os frutos maduros. A qualidade final do café colhido por esse processo deverá ser a melhor, principalmente se o café for preparado por via úmida ou despulpamento.

A colheita mecânica é indicada principalmente para regiões onde existe dificuldade de mão-de-obra e onde a topografia plana ou levemente ondulada permite o uso de máquina (MALAVOLTA, 1993). Com a colheita mecânica, chega-se a colher dois a três hectares por dia, sendo a quantidade colhida uma função da produtividade da lavoura, e a eficiência de colheita é tanto maior quanto maior for a porcentagem de frutos maduros e secos.

A cultura cafeeira apresenta problemas, principalmente no que diz respeito à qualidade do produto, que deve apresentar características organolépticas indispensáveis, que estão relacionadas, entre outros fatores, com os métodos de secagem (CORDEIRO, 1982).

Para uma boa colocação do produto no mercado, deve-se atentar para a qualidade, que está relacionada com as características dos grãos quanto a cor, aspecto, número de defeitos, aroma e gosto da bebida. As películas que envolvem o grão de café são constituídas de enzimas, compostos fenólicos, lipídeos e carboidratos. Em função dessa variada composição, podem ocorrer modificações na composição química do grão durante a secagem. Fatores externos, como temperatura, umidade e danos mecânicos, podem alterar a estrutura dessas membranas, fazendo com que percam a sua organização e a sua seletividade (Amorim et al., citados por LACERDA FILHO, 1986).

CARVALHO et al. (1997) afirmam que o despulpamento do café cereja em regiões tradicionalmente produtoras de café de bebida rio melhora a qualidade da bebida devido à utilização de apenas frutos maduros, sem utilizar cafés infectados do chão, ou cafés muito maduros ainda moles ou secos na árvore, cuja senescência pode ter propiciado a infecção microbiana e também rapidez e cuidados no processamento.

O café pode ser processado de duas formas: por via seca e via úmida. Na forma de preparo por via seca, o fruto é seco na sua forma integral (com casca), enquanto na forma de preparo por via úmida o café é despulpado ou simplesmente descascado. Esta última é indicada para regiões que apresentam problemas quanto à qualidade, como é o caso da Zona da Mata mineira (BÁRTHOLO e GUIMARÃES, 1997).

O processamento por via seca inicia-se com a lavagem do café. Nessa operação ocorre a separação dos frutos de acordo com sua densidade, dependendo dos diferentes estádios de desenvolvimento ou dos diferentes teores de umidade (Quadro 2A). Frutos verdes e cerejas, mais pesados, são separados dos frutos-bóia, que são leves. Por apresentarem tempo de secagem diferente,

essas duas frações devem ser secadas separadamente, para que se obtenha um produto final mais uniforme e de melhor qualidade.

No processamento por via úmida, o café cereja é despulpado após a lavagem, dando origem ao café despulpado. O despulpamento consiste na retirada da casca do fruto maduro, ou cereja, e posterior fermentação e lavagem dos grãos, retirando-se a mucilagem, substrato adequado para o desenvolvimento de microrganismos que podem provocar a ocorrência de fermentações prejudiciais à qualidade final do produto.

O café pode ser classificado quanto a tipo, peneira e bebida. No primeiro caso, classifica-se o produto segundo seu aspecto e sua quantidade de defeitos. O aspecto é influenciado pela coloração dos grãos. Os defeitos provêm de grãos imperfeitos ou de impurezas, que podem ser presença de pergaminho, pedaços de pau, pedras, cascas e terra (Quadro 3A).

A classificação quanto à bebida tem como base o gosto ou o cheiro que o café apresenta na prova de xícara (Quadro 1). A bebida do café é influenciada pela presença de grãos verdes, verde-pretos, pretos ou ardidos, ou, ainda, pela ocorrência de fermentações nos grãos durante a fase de colheita ou preparo.

Quadro 1 - Classificação oficial de café pela bebida

Classificação	Características
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 desagradável, lembrando iodofórmio ou ácido fênico
Rio Zona	Bebida de sabor e odor intoleráveis ao paladar e ao olfato

Fonte: BÁRTHOLO e GUIMARÃES (1997).

2.2. Teor de umidade dos grãos

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

No caso específico do café, a desuniformidade no teor de umidade (Quadro 2A) faz com que os grãos sejam submetidos a diferentes graus de torração, o que é indesejável para a 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).

Um café seco em demasia acarretará prejuízos em razão de perda na massa final, prejuízos devido ao aparecimento de cafés quebrados (café ressecado, quebra no beneficiamento) e, ainda, prejuízos de mão-de-obra, pois o café já poderia estar recolhido na tulha, evitando-se desperdícios em esparramações e amontoas (IBC, 1985).

Segundo Brooker et al., citados por OSÓRIO (1982), quando o produto é armazenado úmido, sua qualidade é profundamente alterada, devido à oxidação dos glicídeos, às fermentações intracelulares e ao desenvolvimento de bactérias e fungos, geralmente acompanhados de aquecimento do grão. A secagem artificial permite que o produto possa ser armazenado por um período maior, preservando a sua qualidade.

2.3. Secagem de grãos

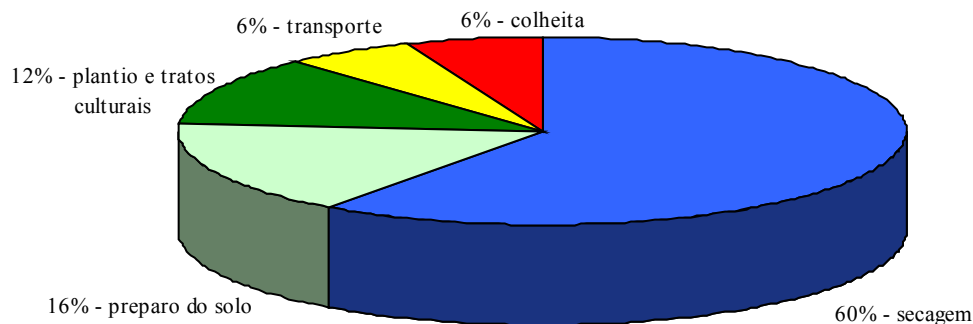
Secam-se produtos agrícolas desde os primórdios da civilização. No início, não havia nenhuma preocupação com a armazenagem e a diminuição de umidade dos grãos, que ocorria no próprio campo. Essa secagem era feita em condições naturais de ambiente, ditadas principalmente pela energia solar incidente e pelo movimento do ar. Mais tarde, tentou-se controlar parcialmente as condições de secagem, que passou a ser feita em fogões especiais ou salas aquecidas (DALPASQUALE, 1984).

No processo de secagem ocorre a evaporação da umidade que se encontra na superfície exposta do grão. A umidade contida no interior do grão se move para a superfície. Diversas teorias têm sido propostas para descrever os mecanismos de movimento da umidade em corpos sólidos (grãos) durante o período de razão decrescente da secagem. Mas, geralmente, concorda-se que o fluxo de umidade ocorre devido à difusão do líquido e, ou, vapor (NUH e BRINKWORTH, 1997).

A secagem, embora seja uma operação de rotina, devido às grandes vantagens que apresenta, tanto para a produção de grãos como para a de sementes, tem que ser feita com muito cuidado, por ser também uma operação de alto risco, visto que pode danificar seriamente a qualidade do produto em processamento. Esses danos serão fisiológicos quando se seca de forma muito rápida ou de forma muito lenta (CARVALHO, 1994).

De acordo com BROOKER et al. (1992), a secagem é uma operação crítica na seqüência colheita-secagem-armazenamento-processamento-transporte. Geralmente delega-se impropriamente à secagem a maior causa da deterioração de grãos nessa série de processos.

A secagem é um processo caro e requer um elevado consumo de energia. Na região centro-oeste dos Estados Unidos, o processo de secagem requer cerca de 60% do total de energia usado no processo produtivo, sendo preparo do solo com 16%, plantio e tratos culturais com 12%, colheita com 6% e transporte com 6% (Figura 1).



Fonte: (BROOKER et al., 1992).

Figura 1 - Distribuição percentual da energia utilizada na produção de grãos na região centro-oeste dos Estados Unidos.

2.4. Secagem em terreiro

A secagem de café em terreiros apresenta algumas características importantes (UREMG, 1969):

- a) A perda de água do café cereja com teor de umidade entre 60 a 65% de umidade b.u. é cerca de 100 vezes mais rápida que o mesmo café com 10 a 12% de umidade.
- b) Até uma espessura de 10 cm, a proporção de água perdida por unidade de área do terreiro cresce com o aumento da espessura da camada de café, apesar de a perda de água por unidade de massa ser retardada.
- c) O café despulpado necessita de cerca de 1/3 do tempo necessário para a secagem do café cereja.
- d) A movimentação periódica dos grãos das camadas espalhadas no terreiro diminui o tempo de secagem em cerca de 14%. Os intervalos de uma hora entre duas movimentações sucessivas são suficientes para a aceleração do processo.

Acredita-se que a secagem do café em terreiros, ou sua exposição por um período de tempo à luz solar, proporciona melhor qualidade de bebida, em

virtude das reações fotoquímicas que ocorrem durante o processo (TASCON, 1984; PINTO FILHO, 1994).

Na maioria dos casos, no Brasil, a secagem é feita em camadas finas, em terreiros de cimento, de tijolos ou até mesmo de chão batido. Conforme a uniformidade de maturação dos grãos, a secagem do café, até os níveis comerciais, tem uma duração que varia de 10 a 15 dias, dependendo das condições climáticas locais. Além de requerer um longo período de secagem, esse método apresenta outras desvantagens, como a necessidade de grandes áreas para a construção dos terreiros; muitas vezes, o produto fica exposto a condições climáticas adversas, o que favorece o desenvolvimento de fungos e o processo de fermentação, podendo depreciar a qualidade do produto (CORREA, 1982; VIEIRA e VILELA, 1995).

Segundo Bitancourt, citado por LACERDA FILHO (1986), estudos realizados com relação aos efeitos da fermentação e da podridão sobre a qualidade do café concluíram que a exposição do café ao ambiente que permita uma secagem rápida evita a podridão e a fermentação, pelo fato de não haver tempo para o desenvolvimento de microrganismos. O café exposto em terreiro, sem secar, por muitos dias, em virtude da alta umidade do ar e da falta de insolação e de arejamento, tenderá a apodrecer, principalmente se os microrganismos tiverem sido inoculados na polpa pela mosca das frutas.

2.5. Uso de secadores mecânicos

O uso de secadores artificiais, de maneira geral, intensificou-se a partir da Primeira Grande Guerra Mundial e tornou-se prática rotineira a partir da Segunda Grande Guerra Mundial (HALL, 1980; CARVALHO, 1994).

Grãos produzidos em grandes quantidades exigiam colheitas mais rápidas e armazenamento de grandes volumes. Esses aspectos levaram ao desenvolvimento dos secadores artificiais. Outros eventos também contribuíram para o desenvolvimento dos secadores artificiais, como os aperfeiçoamentos

constantes da Engenharia Mecânica e das técnicas de cruzamento entre plantas visando ao melhoramento genético (CARVALHO, 1994).

Segundo BROOKER et al. (1978), a produção de grãos nos anos 50 era o dobro daquela precedente aos anos da Segunda Guerra Mundial, devido à adoção de sementes híbridas e ao uso maciço de fertilizantes. A armazenagem em nível de fazenda, nos Estados Unidos, tornou-se uma necessidade em razão desse incremento de produção. A utilização de grãos debulhados para o armazenamento em silos metálicos era imprescindível, pois dessa forma ocupava-se metade do espaço. Essa forma de armazenagem, entretanto, requeria que os grãos fossem secos a um teor de umidade abaixo daquele normalmente encontrado na ocasião da colheita.

No Brasil, o processo de secagem somente veio a ter maior impulso a partir da última década, com o aparecimento das grandes áreas cultivadas, que exigiram o uso de grandes secadores e, ainda, o treinamento avançado de técnicos no campo de processamento de produtos agrícolas (SILVA et al., 1990).

NELLIST e BRUCE (1995) afirmam que os secadores mecânicos possuem alto requerimento de potência. A maior parte da energia (entre 95 e 97%) é usada como energia sob a forma de calor.

Para o aquecimento do ar de secagem podem-se utilizar as seguintes fontes de energia (DALPASQUALE et al., 1991): a) combustíveis como lenha, resíduos agrícolas (biomassa) e derivados do petróleo; b) energia elétrica, por meio de resistências; e c) captação de energia solar.

Como o uso de derivados do petróleo para a secagem de grãos, madeira e fumo está proibido desde janeiro de 1980, devido à resolução do Conselho Nacional do Petróleo (CNP), a biomassa (principalmente madeira e resíduos agrícolas) tem sido utilizada como alternativa viável (SILVA et al., 1991).

Nos secadores com sistema de aquecimento direto, os produtos da combustão permanecem no gás quente que, após diluído com o ar natural (temperatura ambiente), atravessa diretamente a camada de grãos. Nos secadores com sistema de aquecimento indireto, o calor é transferido do combustível queimado para o ar de secagem através de um trocador de calor (NELLIST e

BRUCE, 1995). Dessa forma, os produtos da combustão não entram em contato com a massa de grãos.

A secagem de café em leito fixo é um método relativamente simples; além disso, o custo inicial de implantação está ao alcance de grande parte dos pequenos e médios cafeicultores. Outro aspecto interessante no secador de leito fixo é sua versatilidade, podendo-se secar café cereja, coco ou despulpado, grãos de modo geral, milho em espiga, feijão em rama, raspa de mandioca, cacau, entre outros (CASTRO, 1991; SILVA e LACERDA FILHO, 1993).

Segundo BROOKER et al. (1992), no processo de secagem em camada fixa, o ar de secagem move-se do fundo para o topo da camada de grãos. Trocas de umidade do grão para o ar tomam lugar em uma camada definida de grãos, conhecida como frente de secagem. No início do processo, a frente de secagem localiza-se na parte inferior da camada. À medida que a secagem prossegue, a frente move-se para cima, e, quando esta passa por toda a camada, toda massa é seca até atingir o teor de umidade final desejado.

No mais simples dos secadores de batelada (camada fixa), o grão é colocado numa ampla caixa, com pouca profundidade, com um fundo perfurado que repousa sobre um “plenum”. Dessa forma, o ar de secagem move-se através da camada de grãos e descarrega na atmosfera. A profundidade da camada de grãos deve ser tal que o gradiente de umidade e temperatura estabelecido não seja muito grande (o grão não deve ser sub ou superseco). Para os fluxos de ar e pressão gerados por ventiladores típicos, essas profundidades são da ordem de 15 a 50 cm (NELLIST e BRUCE, 1995).

Bakker-Arkema et al., citados por LACERDA FILHO (1986), afirmam que os secadores de coluna diferem dos sistemas de secagem em camada fixa, em silos, da seguinte maneira:

- a espessura da camada de grãos é significativamente menor (30 a 46 cm);
- o fluxo de ar é elevado (superior a $40 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ por metro cúbico de grãos);
- a temperatura do ar é elevada; e
- o gradiente de umidade na coluna de grãos é pequeno (3 a 5% b.u.).

Para transformar um secador de batelada, com camada plana horizontal, em uma máquina de fluxo contínuo, na qual os grãos úmidos entram por um lado e os grãos secos saem por outro, é possível projetar um mecanismo de recirculação, ou leitos móveis. Há também a possibilidade de se utilizar uma câmara inclinada, onde os grãos se moveriam pela ação da gravidade (NELLIST e BRUCE, 1995).

Grãos com teor de umidade inicial elevada devem ser secados sob baixas temperaturas (40 a 60°C), para que seja possível a migração de umidade do interior para a superfície. Caso contrário, a incidência de quebras e o trincamento dos grãos são elevados. O emprego de temperaturas de secagem elevadas provoca secagem rápida e intensa da superfície do grão, ocasionando endurecimento superficial, que dificulta a evaporação da umidade contida no seu interior (BIAGI et al., 1992).

Segundo Tosello, citado por PINTO FILHO (1994), nos secadores em camada fixa, a temperatura máxima em que o café mantém as melhores condições possíveis, quanto ao tipo de bebida, é 70°C.

IBC (1985) e ANDRADE (1997) recomendam que, para obtenção de um café de boa qualidade, é aconselhável proceder à secagem com temperaturas não superiores a 45°C na massa de café, sempre com partidas homogêneas. No início da colheita, quando a quantidade de frutos verdes ainda for significativa, a temperatura de secagem em secadores mecânicos não deve ultrapassar os limites de 30° a 40°C nas dez primeiras horas de secagem, podendo a mesma ser aumentada gradativamente até 45°C nos grãos de café (ANDRADE, 1997).

CASTRO (1991), citando Begazo, relata que todo café despulpado possui, no início da secagem, teor de umidade em torno de 50% b.u. e que a temperatura ideal de secagem para se obter um produto de bebida suave é 45°C.

Segundo Pierce e Thompson, citados por BERBERT (1991), na secagem convencional em camada fixa a temperatura do ar deve ser mantida em níveis relativamente baixos, minimizando a supersecagem nas camadas inferiores. O aumento da vazão de ar, visando diminuir o gradiente de umidade da massa de grãos, é limitado pela capacidade do ventilador. Quanto maior a espessura da

camada de produto, menor deverá ser a temperatura do ar de secagem e maior deverá ser a vazão do ar. Essas limitações da secagem em camada fixa são semelhantes à secagem com fluxos cruzados.

A utilização de secadores que possuem equipamentos tradicionais de transporte de grãos e que necessitam de certa fluidez do produto não é recomendada para o café quando este apresenta teor de umidade acima de 40% b.u. Portanto, a secagem deve ser executada numa primeira etapa, em terreiros, em secadores de leito fixo ou rotativos (PINTO FILHO, 1994).

PINTO (1993) relata que o café apresenta dificuldade de escoamento no interior dos secadores, principalmente quando se encontra muito úmido, em virtude da eliminação da mucilagem existente entre o grão e a casca durante o processo de secagem. O autor ressalta ainda que essa característica limita a utilização de altas temperaturas na secagem de café em secadores de fluxos concorrentes.

CASTRO (1991) estudou a utilização de três intervalos de revolvimento (uma, duas e três horas) na secagem de café despulpado em secador experimental de camada fixa. Como o autor não constatou influência significativa do intervalo de revolvimento da massa de grãos, recomendou-se utilizar o intervalo de três horas, em razão da maior facilidade em se realizar a operação de secagem.

A secagem de café apresenta algumas características que o distinguem de outros grãos (VILELA, 1997):

- a) alto teor de umidade inicial (cereja em torno de 60 a 70% b.u.);
- b) mistura heterogênea - grãos com diferentes teores de umidade (20 a 70%), cujas proporções variam durante a colheita;
- c) estrutura complexa do fruto - camadas de diferentes tecidos e teores de umidade, com polpa e mucilagem muito úmidas (em torno de 85%), e, logo após, um tecido celulósico duro (pergaminho) que encobre uma semente com 50% de umidade;
- d) redução de volume durante a secagem (30 a 40%); e
- e) tamanho desuniforme dos frutos.

Segundo IBC (1985), na secagem em barcaças, deve-se formar uma camada de 50 cm de altura, devendo o café ser revolvido manualmente a cada duas a três horas.

2.6. Avaliação de secadores

As principais razões para testar secadores de grãos são: a) auxiliar no desenvolvimento de protótipos, b) confirmar as especificações de desempenho e c) prover informações para a comercialização e orientação de operadores (NELLIST e BRUCE, 1992).

Segundo os mesmos autores, têm ocorrido, na última década, significativos avanços na prática e tecnologia de secagem, particularmente no uso de computadores para instrumentação e para a simulação do desempenho de secadores. Quando se procura mensurar o desempenho de secadores, com uma precisão aceitável, deve-se trabalhar com condições estáveis (ou quase estáveis) de secagem.

NELLIST e BRUCE (1995) afirmam ainda que o progresso da 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 a instrumentação, 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 de teor de umidade e qualidade dos grãos são feitas sob condições de laboratório, através de amostras coletadas na entrada e saída de produto. Mas a temperatura deve ser medida através de sensores instalados na massa de grãos, ou em amostras coletadas em “containers” isolados termicamente (NELLIST e BRUCE, 1992). BAKKER-ARKEMA et al. (1978) ressaltam que a avaliação experimental de secadores requer medidas precisas dos

grãos, ar de secagem e parâmetros de secagem, e das fontes de energia, incluindo a energia usada nos ventiladores e sistemas de movimentação de grãos.

Quando se necessita mais do que os dados básicos na avaliação do desempenho de um secador, torna-se necessária a instalação de sensores adicionais para medir fluxo de ar, temperatura e umidade do ar de exaustão e pressão estática. Pode haver também a necessidade de obter amostras de grãos em pontos da camada de secagem, para avaliar a uniformidade da secagem.

A medição do fluxo de ar, particularmente do fluxo de ar aquecido, que determina o desempenho da secagem, é um dos pontos mais difíceis, pois exige elevada precisão e não deve influir no comportamento do ar de secagem.

Para os secadores de fluxo contínuo, devem-se estabilizar as condições de secagem e mantê-las nessa forma durante o período de teste, coletando-se as amostras e efetuando as leituras. Para o caso de secadores de batelada, as leituras devem ser feitas durante um ciclo de secagem, e as amostragens realizadas no carregamento e na descarga do secador. A escolha dos pontos de amostragem, assim como o tratamento correto na divisão das amostras em subamostras para avaliação da qualidade dos grãos e determinação do teor de umidade, é vital para a precisão dos resultados (NELLIST e BRUCE, 1992).

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

O procedimento para o teste de um secador de batelada pode ser resumido na seguinte maneira (NELLIST e BRUCE, 1992):

1. Carregar o secador e registrar sua capacidade.
2. Fixar a temperatura de secagem. O valor escolhido irá depender do objetivo do teste.
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 regular as leituras dos sensores, perfazendo um mínimo de 12 leituras.

6. Ao atingir a umidade pré-determinada, proceder ao resfriamento dos grãos, fazer a operação de descarga e determinar a massa do produto final.

BAKKER-ARKEMA et al. (1978) propuseram uma metodologia para a avaliação do desempenho de secadores. Esta metodologia é baseada em um número reduzido de testes de campo, sob determinadas condições padronizadas (Quadro 2). Vários autores têm se baseado nesta metodologia para a avaliação de protótipos de secadores (OSÓRIO, 1982; SABIONI, 1986; SILVA et al., 1991; PINTO, 1993; PINTO FILHO, 1994).

Com relação ao tempo de secagem, BAKKER-ARKEMA et al. (1978) sugerem que, para os secadores de batelada, três testes devem ser conduzidos, ou o equivalente a 24 horas de secagem. No caso de secadores de fluxo contínuo, estes devem ser operados por um período de 24 horas.

Quadro 2 - Parâmetros e especificações do secador requeridos para a avaliação do desempenho

PARÂMETROS	UNIDADE
Parâmetros dos grãos	
• tipo de grão	-
• teores de umidade inicial e final	% b.u.
• temperaturas inicial e final	°C
• percentagens de impurezas inicial e final	%
• massas específicas globais inicial e final	kg.m ⁻³
• massa do produto úmido	kg
• índices de qualidade	-
Parâmetros do ar	
• temperatura do ar de secagem	°C
• temperatura de bulbo seco do ar ambiente	°C
• umidade relativa do ar ambiente	%
Especificações do secador	
• densidade do fluxo de ar	m ³ .min ⁻¹ .m ⁻²
• volume total	m ³
• tempo de secagem	h
• tempo de resfriamento	h
• espessura da coluna de secagem	m
• pressão estática	mm.c.a.
• tempo de carregamento	min
• tempo de descarga	min
Uso de energia	
• ventilador e transportadores	kWh.lote ⁻¹
• tipo de combustível e quantidade utilizada por lote	kg
Dados do desempenho	
• duração do teste ou volume do produto úmido	h m ³
• pontos percentuais de umidade removida	% b.u.
• capacidade de secagem	m ³ .h ⁻¹ de produto úmido
• capacidade de secagem	m ³ .h ⁻¹ de produto seco
• eficiência energética de secagem, excluindo a energia elétrica	kJ.kg ⁻¹ de água evaporada
• eficiência energética de secagem, incluindo a energia elétrica	kJ.kg ⁻¹ de água evaporada

Fonte: BAKKER-ARKEMA et al. (1978).

3. MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado no Setor de Pré-Processamento de Produtos Agrícolas do Departamento de Engenharia Agrícola, pertencente ao Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG.

Para a avaliação do protótipo, foi utilizado café (*Coffea arabica* L.), da variedade Catuaí, procedente da fazenda pertencente ao grupo Gravatá Agropecuária Ltda., situada no Município de Teixeiras, MG. O produto, colhido no mês de julho de 1997, pelo sistema de derriça ao chão, com aproximadamente 60% de teor de umidade (b.u.), foi submetido aos processos de despulpamento e pré-secagem em terreiro por cinco dias, até atingir 43,1 % de teor de umidade, quando então foi transportado para o Setor de Armazenamento do Departamento de Engenharia Agrícola, para realização dos testes de secagem.

3.1. O protótipo

O protótipo foi construído em alvenaria, sendo as câmaras de secagem confeccionadas usando chapas de aço-carbono com espessura de 2 mm, cuja vista geral é mostrada na Figura 2.

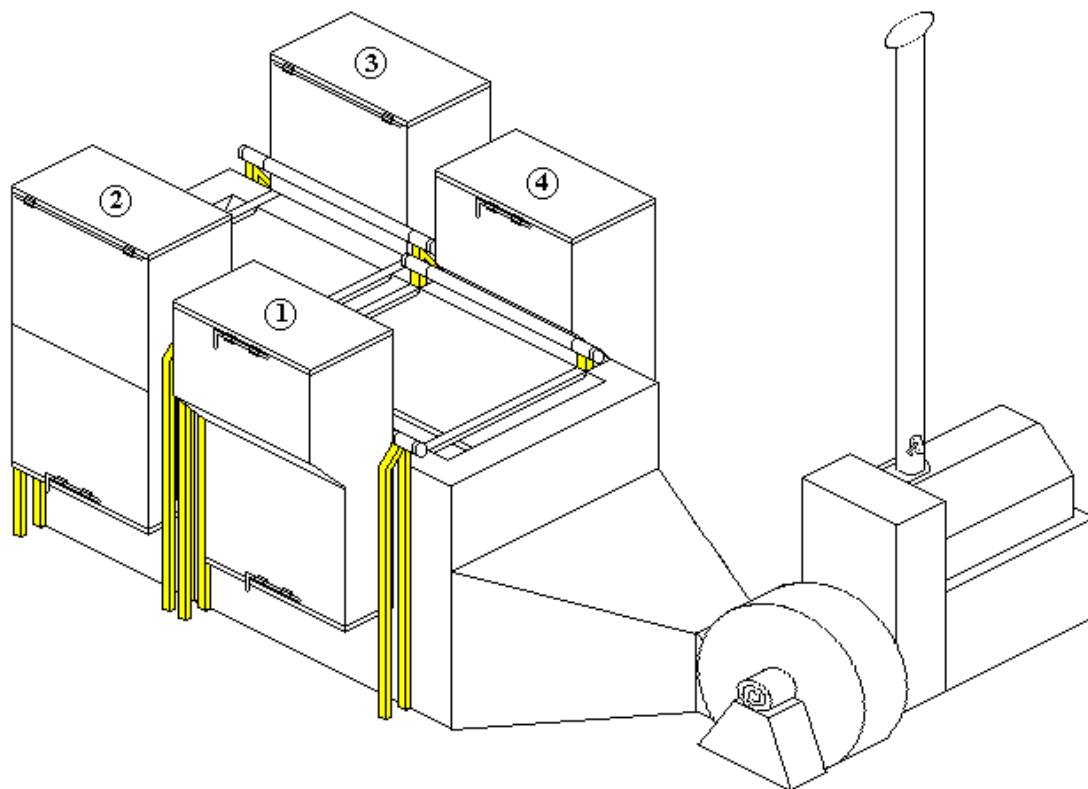


Figura 2 - Esquema do protótipo do secador.

Basicamente, o secador é composto das seguintes partes:

a - câmaras de secagem - em número de quatro, construídas com chapas metálicas nº14. Podem ser divididas em três regiões, para melhor compreensão de seu funcionamento. A primeira região (“A” da Figura 3) é o local onde se situa a camada de grãos que é submetida ao fluxo de ar de secagem. Esta camada de grãos fica compreendida entre duas chapas com 25% de perfuração, sendo a área de cada uma igual a 1 m^2 ($1\text{m} \times 1\text{m}$). Uma destas chapas perfuradas fica em contato com o “plenum” e recebe o ar quente destinado a secagem. A outra chapa perfurada é disposta externamente à câmara e é por onde sai o ar com a umidade retirada do produto. A coluna de grãos, compreendida entre as chapas, tem uma espessura de 0,30 m, perfazendo, dessa forma, um volume de $0,30 \text{ m}^3$. A segunda região (“B” da Figura 3) tem uma altura aproximada de 0,20 m, correspondendo a um volume de $0,08 \text{ m}^3$. A altura da massa de grãos contida nessa região varia

com o decorrer da secagem, devido ao adensamento e à redução do volume do produto, que ocorrem nesse período. Essa região funciona como uma câmara de descanso para o volume de café que ali se encontra. Outra finalidade desta camada de produto é servir como obstáculo, para que não se perca grande quantidade de ar de secagem. A terceira região (“C” da Figura 3) é o local destinado ao revolvimento dos grãos. Para possibilitar melhor mistura do café (Figura 4), esta região da câmara possui maior volume ($0,4 \text{ m}^3$). O volume total de cada câmara de secagem é de $0,775 \text{ m}^3$. As câmaras são posicionadas verticalmente em relação ao “plenum” e os eixos de sustentação se apóiam em mancais, permitindo que estas câmaras possam ter um movimento giratório (Figura 4). Este movimento tem a finalidade de promover a movimentação e o revolvimento do café dentro das câmaras de secagem.

Foram construídas nas câmaras de secagem, em sua parte superior e inferior, respectivamente, portas para carregamento e descarga do produto (Figura 3).

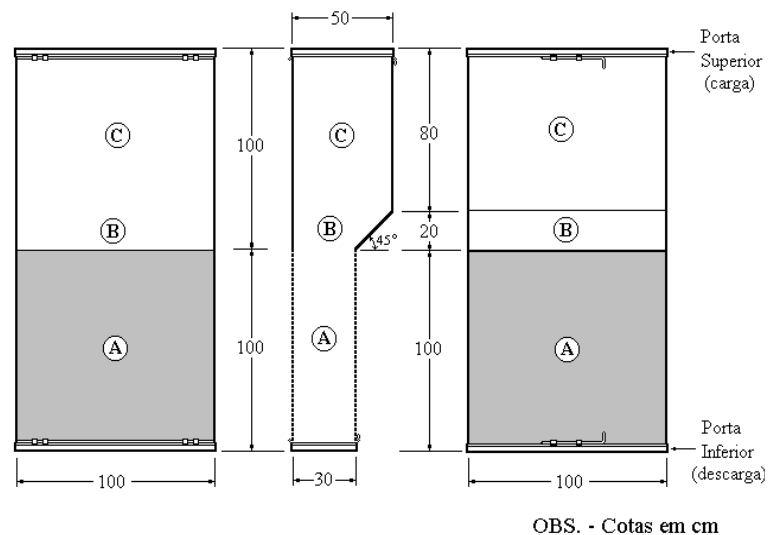


Figura 3 - Vistas posterior, lateral e frontal da câmara de secagem, com suas dimensões.

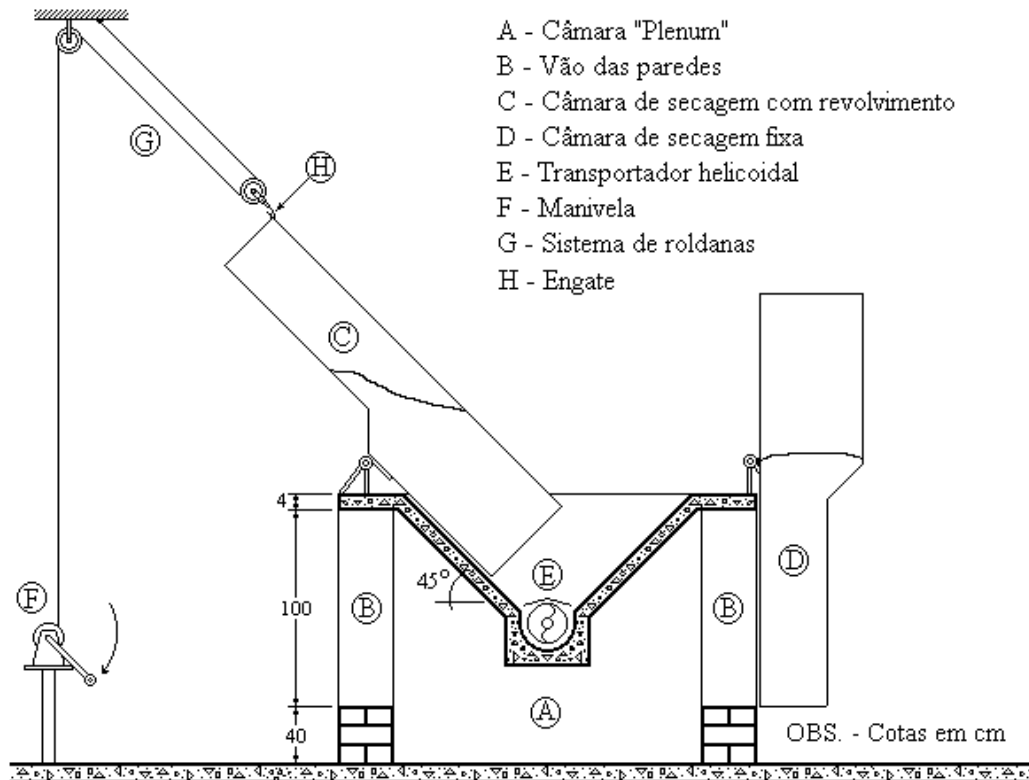
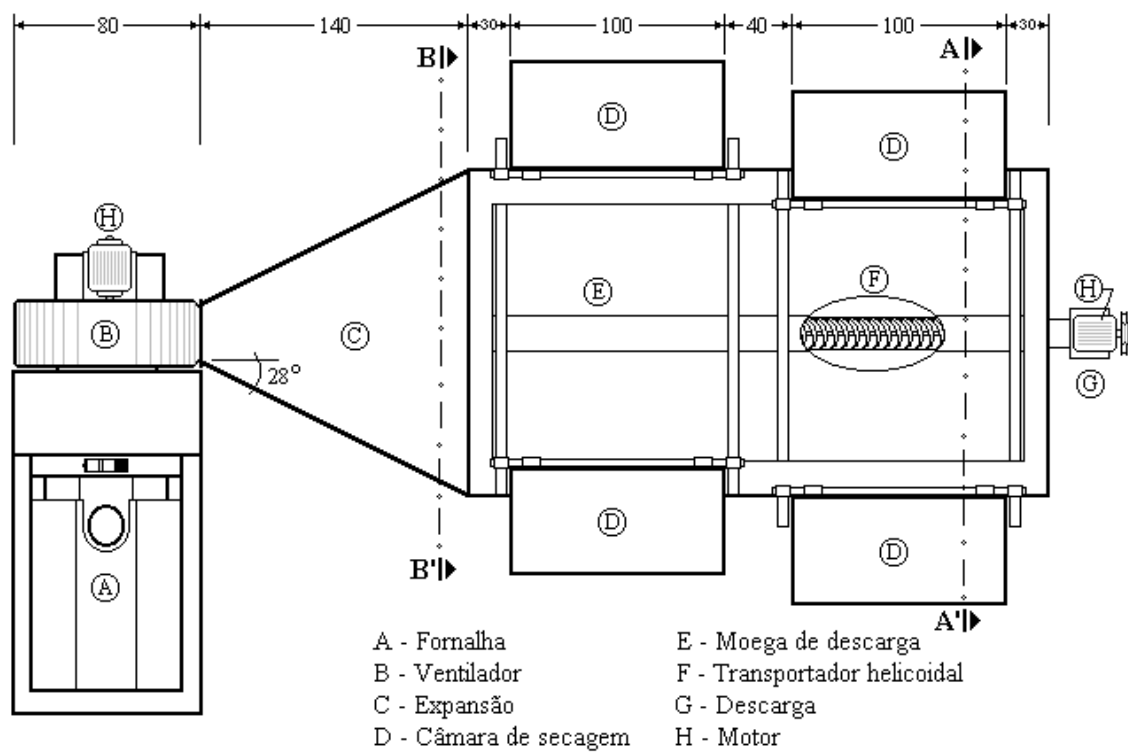


Figura 4 - Corte transversal A A' do secador.

b - câmara "plenum" - espaço vazio, com finalidade de distribuir o fluxo de ar quente para as quatro câmaras de secagem. Este "plenum" tem uma base retangular (1,80 x 3,00m) e sua seção vertical tem a forma de "M" (Figura 4). Seu volume interno é de 3,53 m³.

c - expansão - elemento de transição entre o ventilador e a câmara "plenum", que tem a finalidade de uniformizar o fluxo de ar no secador (Figura 5). O ângulo de abertura da expansão, em relação ao eixo de simetria do secador, deve ser superior a 15° e inferior a 45° (DALPASQUALE et al., 1991; SILVA e LACERDA FILHO, 1993). No secador em estudo, utilizou-se um ângulo de 28°; dessa forma, o elemento de transição teve um comprimento de 1,40 m (Figura 5). A junção da expansão com a câmara "plenum" foi feita por meio de lajotas perfuradas ("A" da Figura 6), visando uma boa distribuição do



OBS. - Cotas em cm

Figura 5 - Vista superior do sistema de secagem.

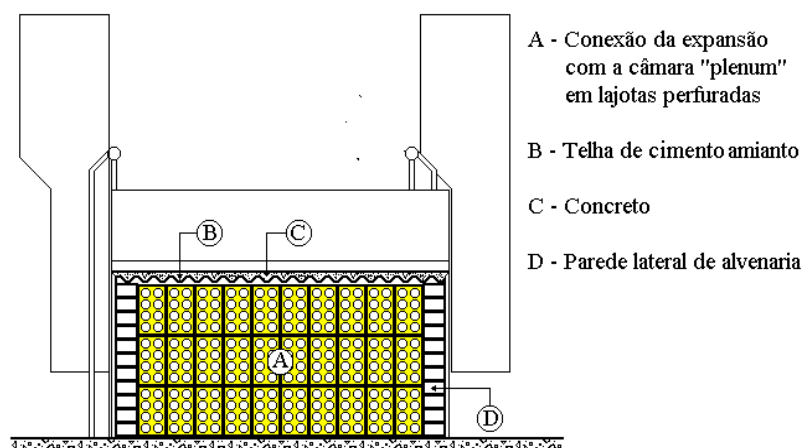


Figura 6 - Corte B B'.

fluxo de ar. As paredes da expansão foram construídas em alvenaria (“D” da Figura 6), e sua tampa foi confeccionada utilizando-se telhas de cimento-amianto (“B” da Figura 6), instaladas sobre uma armação de ferro. Sobre estas telhas foi colocada uma camada de concreto (“C” da Figura 6).

d - ventilador (“B” da Figura 5) - com uma potência de 3 cv e vazão de $82,5 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$, sua finalidade é succionar o ar quente da fornalha e forçar sua passagem através da massa de grãos nas quatro câmaras de secagem.

e - fornalha de fogo indireto (“A” da Figura 5) - basicamente, esta fornalha é constituída de um trocador de calor composto por 18 dutos, que promovem o aquecimento do ar de secagem em fluxos cruzados, ou seja, o ar aquecido, proveniente da câmara de combustão, escoar entre estes dutos, entrando em contato com sua parte exterior, promovendo seu aquecimento. Internamente aos dutos, escoar o ar de secagem, forçado pelo ventilador descrito anteriormente. Fazem parte da fornalha também um cinzeiro, responsável por coletar os resíduos sólidos (cinzas) provenientes da queima da lenha na câmara de combustão, e uma chaminé, que tem a finalidade de escoar os resíduos gasosos (fumaça) para a atmosfera em um ponto distante da massa de grãos, evitando sua contaminação.

f - moega de descarga - na parte superior da câmara “plenum” foi construída uma moega de descarga (“E” da Figura 5). Suas paredes, construídas em concreto armado, formam um ângulo de 45° com a horizontal (Figura 4), para que houvesse facilidade de escoamento do produto. No fundo da moega foi instalado um transportador helicoidal (“F” da Figura 5), com a finalidade de recolher o produto seco das quatro câmaras e descarregá-lo (ponto “G” da Figura 5).

g - sistema de içamento das câmaras de secagem - para proceder ao revolvimento dos grãos nas câmaras de secagem, foi instalado um sistema de içamento composto por duas roldanas e uma manivela (“G” e “F” da Figura 4). Girando a manivela, o cabo de aço é acionado, tracionando-se a câmara de secagem. Para promover o revolvimento dos grãos em uma câmara, deve-se acoplar o cabo de aço a esta câmara através de um engate próprio (“H” da Figura 4).

3.2. Avaliação do desempenho do secador

Para a avaliação do desempenho do secador, foi utilizada a metodologia proposta por BAKKER-ARKEMA et al. (1978).

3.2.1 Parâmetros relativos aos grãos

a - Teor de umidade

Os teores de umidade dos grãos foram obtidos pelo método-padrão de estufa, $105 \pm 1^\circ\text{C}$ por 24 horas, com três repetições, sendo utilizadas amostras de aproximadamente 30 g, segundo as Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 1992).

As amostras para a obtenção do teor de umidade inicial foram obtidas na operação de carregamento do secador.

No final da secagem, foram coletadas amostras de grãos em 36 pontos de cada câmara de secagem, com a finalidade de avaliar a uniformidade do teor de umidade. Para coletar estas amostras, utilizou-se um amostrador segmentado com oito separações. Cada duas amostras consecutivas do amostrador eram juntadas, homogeneizadas e separadas em três subamostras, para determinação do teor de umidade (Figura 7).

O teor de umidade final foi considerado como a média dos teores de umidade final das quatro câmaras.

b – Determinação da massa do produto

Durante a operação de carregamento do secador, procedeu-se à pesagem do produto ensacado, em uma balança de plataforma, com precisão de 0,1 kg. A massa final foi obtida calculando-se a quantidade de água evaporada do produto.

c - Temperaturas

As temperaturas dos grãos foram obtidas por meio de termopares de cobre-constantan, conectados a um sistema automático de aquisição de dados acoplado a um microcomputador 486 DLC. A posição dos termopares no secador pode ser observada na Figura 8. Apresenta-se, no Quadro 3, a descrição dos locais onde foram medidas as temperaturas.

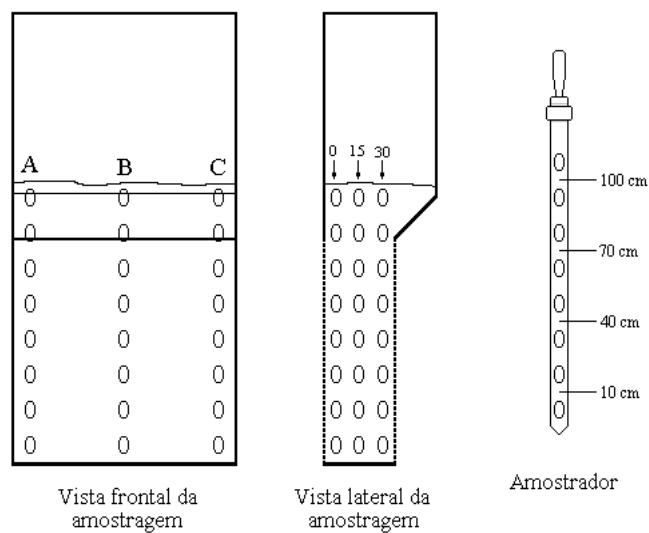


Figura 7 - Esquema mostrando os pontos de amostragem nas câmaras de secagem.

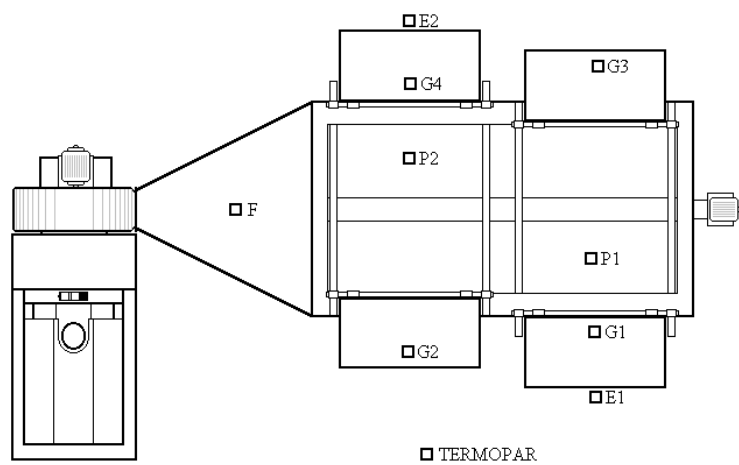


Figura 8 - Esquema do posicionamento dos termopares no secador.

Quadro 3 - Relação dos termopares e sua localização no secador

Termopar	Posição do Termopar no Secador
F	Ar aquecido proveniente da Fornalha
G1	Interior da Massa de Grãos (1)
G2	Interior da Massa de Grãos (2)
G3	Interior da Massa de Grãos (3)
G4	Interior da Massa de Grãos (4)
P1	Dentro do “Plenum” (1)
P2	Dentro do “Plenum” (2)
E1	Ar de Exaustão (1)
E2	Ar de Exaustão (2)

d - Qualidade do produto

Para análise da qualidade final do produto e testes de bebida, foram enviadas amostras de café de cada uma das quatro câmaras de secagem ao Laboratório de Qualidade de Café “Dr. Alcides Carvalho”, pertencente à Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), localizada no Centro Regional de Pesquisa do Sul de Minas - Lavras, onde foi feita uma análise sensorial e classificação do café.

3.2.2. Parâmetros relativos ao ar

a - Temperatura do ar de secagem

Foram registradas temperaturas do ar de secagem na saída da fornalha, em dois pontos do “plenum” e na exaustão de duas câmaras de secagem (Figura 8), utilizando-se termopares de cobre-constantan conectados ao sistema de aquisição de dados.

A temperatura média do ar de secagem em cada câmara foi obtida das temperaturas registradas em intervalos consecutivos de 1 minuto.

b - Temperatura e umidade relativa do ar ambiente

A temperatura e umidade relativa do ar foram registradas mediante o uso de psicrômetro com termopares localizados em local abrigado, distante 10 m do secador.

3.2.3. Consumo de energia

a - Ventilador

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

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

em que

EM = energia consumida pelo motor, kJ;

PM = potência do motor, cv; e

tf = tempo de funcionamento do motor, h.

b - Combustível

Para aquecimento do ar de secagem, utilizou-se como combustível a madeira de eucalipto (*Eucalyptus grandis*). A lenha foi serrada, apresentando dimensões médias de 0,50 m de comprimento e diâmetro variado.

Para a determinação do teor de umidade, retiraram-se amostras aleatórias dos lotes de lenha.

O teor de umidade foi obtido pelo método de estufa, $103 \pm 1^\circ\text{C}$ por 72 horas, com três repetições para cada amostra.

A energia proveniente do combustível utilizado para o aquecimento do ar de secagem foi determinada pela seguinte equação:

$$EPC = QC \times PCI \quad (2)$$

em que

EPC = energia proveniente do combustível, kJ;

QC = quantidade de combustível, kg; e

PCI = poder calorífico inferior do combustível, kJ.kg⁻¹.

Para determinação do poder calorífico da lenha, utilizou-se a fórmula proposta por Tiliman, citado por OSÓRIO (1982):

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

em que

PCI = poder calorífico inferior do combustível, kJ.kg⁻¹;

PCS = poder calorífico superior do combustível, kJ.kg⁻¹ (17.974 kJ.kg⁻¹ para a espécie “*Eucaliptus grandis*”); e

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

3.3. Especificações do secador

a - Densidade de fluxo de ar

A densidade de fluxo de ar foi calculada pela equação:

$$DFar = \frac{VZar}{As} \quad (4)$$

em que

DFar = densidade de fluxo de ar, m³.min⁻¹.m⁻²;

VZar = vazão do ar, m³.min⁻¹; e

As = soma das áreas perfuradas das câmaras de secagem, m².

A vazão do ar foi obtida pelo somatório da vazão de ar nos 18 dutos de entrada de ar do trocador de calor da fornalha.

$$VZd = VFar \times Ad \quad (5)$$

em que

VZd = vazão do ar no duto de entrada de ar da fornalha, $m^3 \cdot \text{min}^{-1}$;

$VFar$ = velocidade do fluxo de ar, $m \cdot \text{min}^{-1}$; e

Ad = área do duto de entrada de ar da fornalha, m^2 .

A velocidade do fluxo de ar foi determinada através de um anemômetro digital de pás rotatórias com precisão de $0,01 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, conectado aos dutos de entrada de ar da fornalha.

b - Tempos

Os tempos de carregamento, secagem e descarregamento foram cronometrados durante estas operações.

c - Capacidade de secagem

A capacidade de secagem foi calculada pela seguinte equação:

$$C_s = \frac{MP}{ts} \quad (6)$$

em que

C_s = capacidade de secagem de produto úmido, $\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$;

MP = massa de produto úmido, kg ; e

ts = tempo total de operação do secador, h .

O tempo total de operação do secador foi obtido pela soma dos tempos de carregamento, secagem e descarregamento.

d - Eficiência energética de secagem

A eficiência energética de secagem, ou seja, a quantidade de energia necessária para evaporar uma unidade de massa de água do produto, foi obtida da seguinte forma:

$$EEs = \frac{EC}{Mi - Mf} \quad (7)$$

em que

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

EC = energia consumida, kJ;

Mi = massa inicial do produto, kg; e

Mf = massa final do produto, kg.

A energia consumida representa a energia proveniente da queima do combustível mais a energia elétrica necessária para movimentar o motor do ventilador.

3.4. Operação do secador

O secador foi carregado com produto úmido até 50% da capacidade de suas câmaras.

Procedeu-se ao revolvimento nas câmaras 1 e 2 (Figura 2), em intervalos de 3 horas (SILVA e LACERDA FILHO, 1993; CASTRO, 1991). Para avaliar a influência do revolvimento na redução dos gradientes de teor de umidade na massa de grãos, as câmaras 3 e 4 foram mantidas estáticas durante a operação de secagem.

A alimentação de combustível (lenha) foi realizada de forma que a temperatura do produto se mantivesse aproximadamente constante, dentro da faixa preestabelecida, ou seja, menor que 45 °C.

Os valores de temperatura foram medidos em intervalos de um minuto.

Para determinar o final da secagem, procedeu-se ao monitoramento do teor de umidade do produto, coletando-se amostras nas câmaras a cada duas horas, e a quantificação deste teor foi realizada pelo método de Evaporação Direta da Água em Banho de Óleo - EDABO (SABIONI et al., 1984).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos da avaliação do secador, como parâmetros dos grãos, do ar ambiente e do ar de secagem, especificações do secador e dados do desempenho, estão relacionados nos Quadros 4, 5, 6 e 7, respectivamente.

A densidade de fluxo de ar, determinada através de anemômetro digital nos dutos de entrada de ar na fornalha, foi de $21,4 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ no início da secagem, reduzindo para $19,8 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ ao final.

4.1. Temperaturas e umidade relativa

Os valores médios das temperaturas ambiente, do ar de secagem e do ar de exaustão (câmaras 1 e 3), assim como a umidade relativa, encontram-se no Quadro 5.

A representação gráfica das temperaturas do ar ambiente, ar de secagem, ar na massa de grãos, ar de exaustão e ar no “plenum”, em função do tempo de secagem, encontra-se nas Figuras 9, 10, 11 e 12, respectivamente.

A temperatura média do ar de secagem foi de $42,7 \pm 2,1^\circ\text{C}$ (gráficos das Figuras 9 a 12).

A temperatura do ar na massa de grãos apresentou valores máximos de 44,9, 45,5, 46,1 e 46,3 °C, para as câmaras de 1 a 4, respectivamente. À medida que progrediu a secagem, esta temperatura apresentou tendência a se equilibrar com a temperatura do ar no “plenum” (Figuras 9 a 12).

As temperaturas do ar de exaustão, medidas nas câmaras 1 e 3, mostradas nas Figuras 9 e 11, respectivamente, aumentaram com o decorrer da secagem.

Quadro 4 - Parâmetros relativos aos grãos encontrados no teste do secador

Parâmetros	Unidade
• tipo de grão	Café despulpado
• teor de umidade inicial dos grãos	43,1 % b.u.
• teor de umidade final médio dos grãos	12,6 ± 5,4 % b.u.
• teor de umidade final médio da câmara 1	11,7 ± 1,1 % b.u.
• teor de umidade final médio da câmara 2	13,0 ± 3,6 % b.u.
• teor de umidade final médio da câmara 3	14,9 ± 8,4 % b.u.
• teor de umidade final médio da câmara 4	11,4 ± 3,1 % b.u.
• temperatura do ar na massa de grãos:	
câmara 1	38,9 ± 1,7 °C
câmara 2	39,7 ± 1,7 °C
câmara 3	39,9 ± 2,0 °C
câmara 4	40,0 ± 2,0 °C
• massa específica aparente inicial	426,2 kg.m ⁻³
• massa inicial	929 kg
• índices de qualidade	Quadro 8

Quadro 5 - Parâmetros relativos ao ar ambiente e ar de secagem

Parâmetros	Valores médios
• temperatura do ar ambiente	17,1 ± 4,2 °C
• temperatura do ar de secagem	42,7 ± 2,1 °C
• temperatura do “plenum” (ponto 1)	40,0 ± 1,9 °C
• temperatura do “plenum” (ponto 2)	41,2 ± 1,9 °C
• temperatura do ar de exaustão da câmara 1	34,0 ± 2,2 °C
• temperatura do ar de exaustão da câmara 3	35,2 ± 2,3 °C
• umidade relativa	81,9 ± 10,4 %

Quadro 6 - Especificações do secador

Parâmetro	Unidade
• densidade do fluxo do ar de secagem	20,62 m ³ .min ⁻¹ .m ⁻²
• volume total	3,12 m ³
• volume utilizado	1,52 m ³
• tempo de secagem	42 h
• largura da coluna de secagem	0,30 m
• tempo de carregamento	48 min
• tempo de descarga	35 min

Quadro 7 - Dados do desempenho do secador

Parâmetros	Valores
• duração do teste	43,4 h
• pontos percentuais de umidade removida:	
câmara 1	31,5
câmara 2	30,1
câmara 3	28,2
câmara 4	31,8
• capacidade de secagem	21,4 kg.h ⁻¹
• eficiência energética de secagem, excluindo a energia elétrica	12.752 kJ.kg ⁻¹
• eficiência energética de secagem, incluindo a energia elétrica	16.784 kJ.kg ⁻¹

A temperatura do ar na massa de grãos das quatro câmaras apresentou valores médios próximos, ou seja, $38,9 \pm 1,7$; $39,7 \pm 1,7$; $39,9 \pm 2,0$ e $40,0 \pm 2,0$ °C, para as câmaras de 1 a 4, respectivamente.

As temperaturas medidas em dois pontos do “plenum” também apresentaram valores médios próximos, ou seja, $41,2 \pm 1,9$ °C para o ponto dois (Figura 8) e $40,0 \pm 1,9$ °C para o ponto 1. Isto indica que houve uma distribuição uniforme da temperatura do ar de secagem em todo corpo do secador.

A temperatura média do ar ambiente, na ocasião do teste, se apresentou relativamente baixa ($17,1 \pm 4,2$ °C), provocando um alto consumo de combustível para o aquecimento do ar de secagem.

4.2. Teores de umidade

O teor de umidade dos grãos, chegando ao local do experimento, após a pré-secagem em terreiro, foi de 43,1 % b.u.

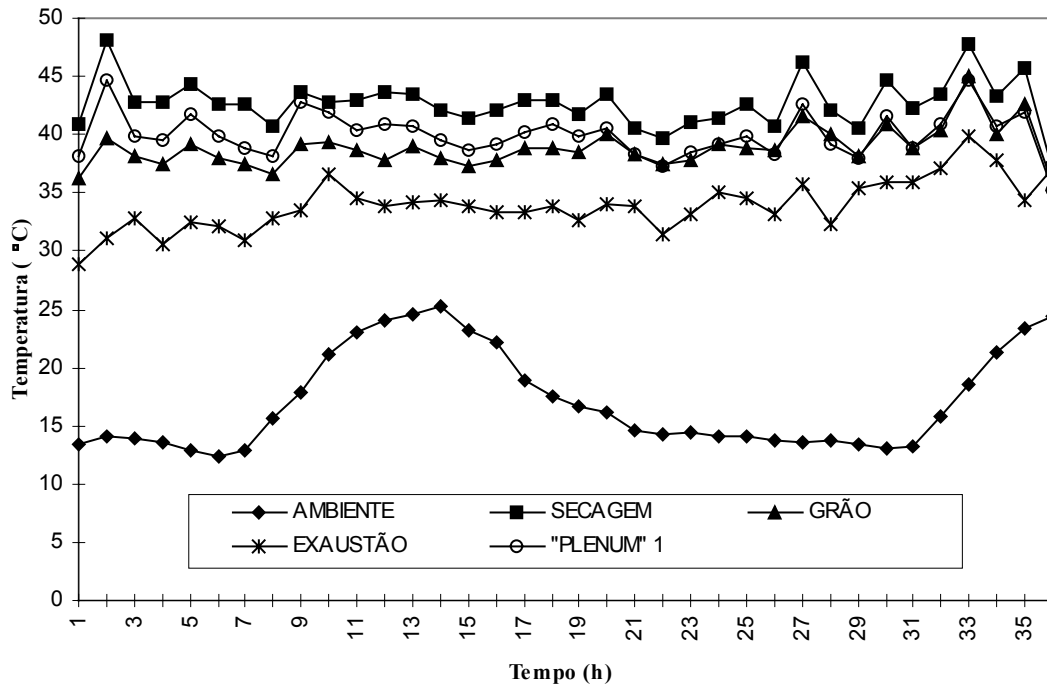


Figura 9 - Variação das temperaturas do ar ambiente, do ar de secagem, do ar nos grãos, do ar de exaustão e do ar no “plenum” (P1), em função do tempo (câmara 1).

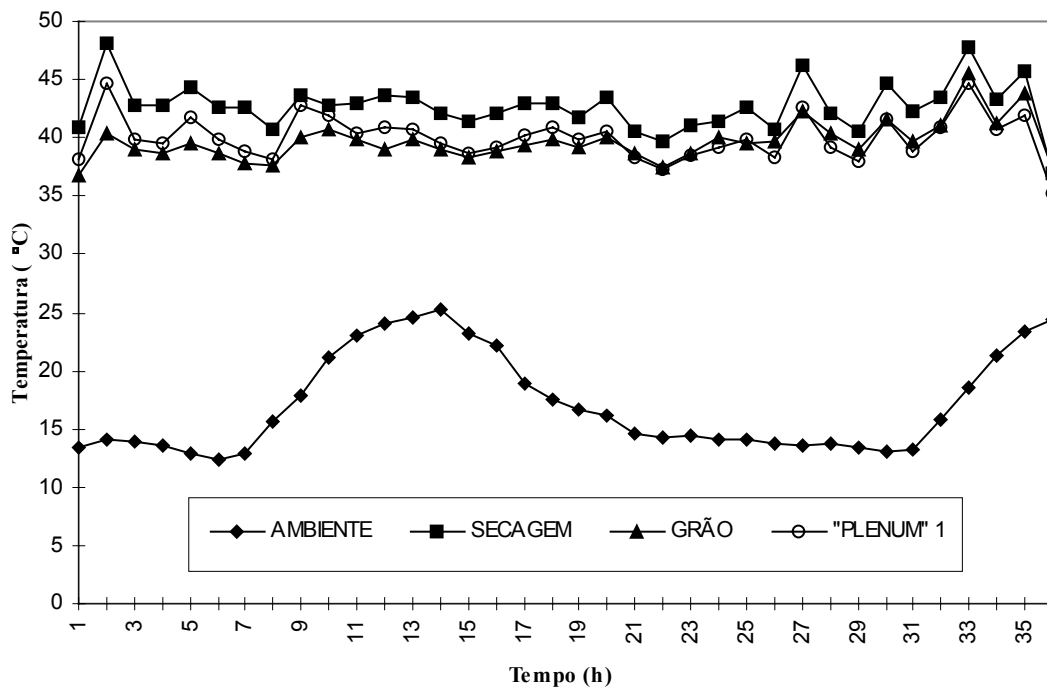


Figura 10 - Variação das temperaturas do ar ambiente, do ar de secagem, do ar nos grãos e do ar no “plenum” (P1), em função do tempo (câmara 2).

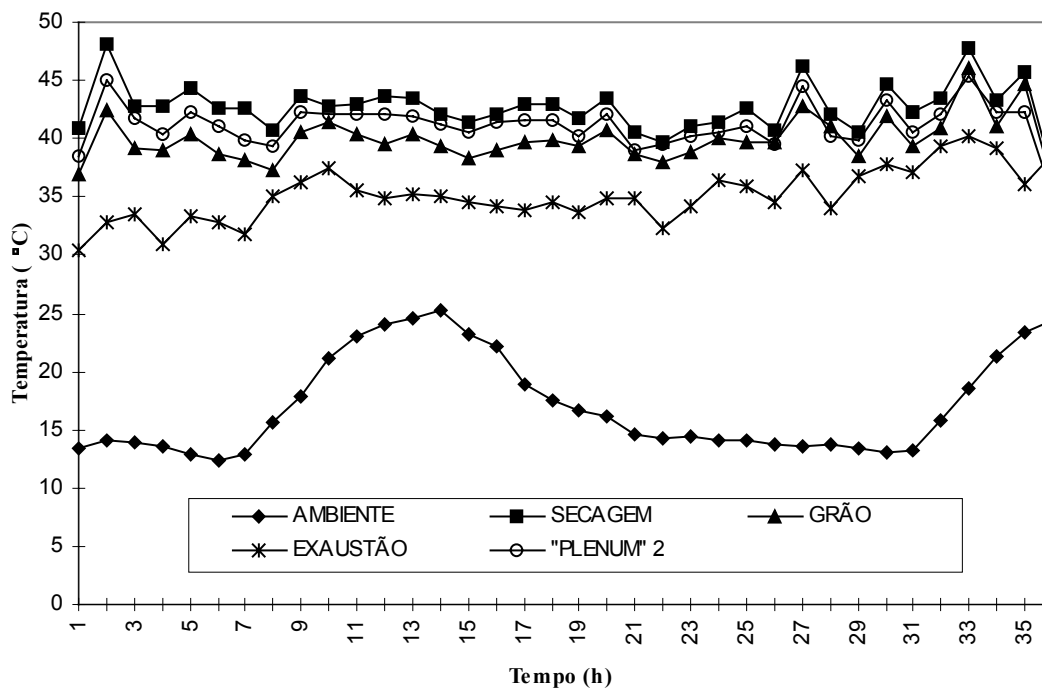


Figura 11 - Variação das temperaturas do ar ambiente, do ar de secagem, do ar nos grãos, do ar de exaustão e do ar no “plenum” (P2), em função do tempo (câmara 3).

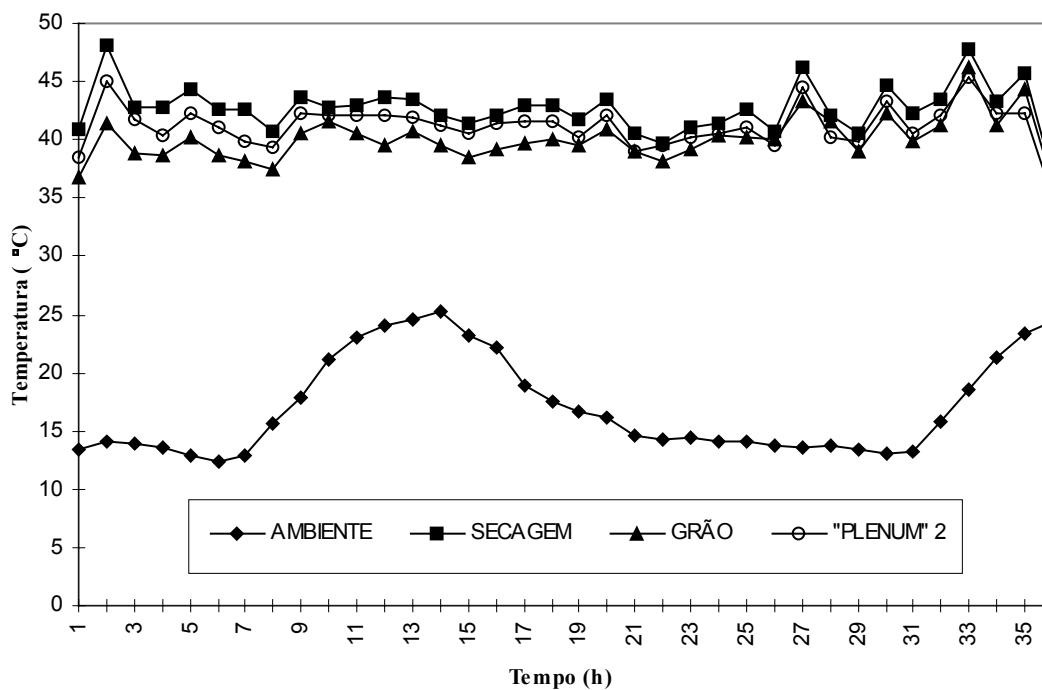


Figura 12 - Variação das temperaturas do ar ambiente, do ar de secagem, do ar nos grãos e do ar no “plenum” (P2), em função do tempo (câmara 4).

O teor de umidade final variou para cada câmara de secagem, tendo sido determinados os seguintes valores médios: câmara 1: $11,6 \pm 1,1 \%$; câmara 2: $13,0 \pm 3,6 \%$; câmara 3: $14,9 \pm 8,6 \%$; e câmara 4: $11,4 \pm 3,1 \%$ b.u.

O valor médio do teor de umidade final de todo o lote foi de $12,6 \pm 5,4 \%$ b.u.

Com o intuito de avaliar a uniformidade de secagem do produto dentro das câmaras, foram feitas amostragens de grãos em diferentes posições e diferentes alturas dentro das mesmas. Esta amostragem foi realizada com um amostrador segmentado com oito orifícios.

O amostrador foi introduzido em nove pontos diferentes, nas câmaras (pontos “1”, “2” e “3” da Figura 13). Os pontos 1, 2 e 3 são distantes 0, 15 e 30 cm, respectivamente, da chapa perfurada que fica em contato com o “plenum”.

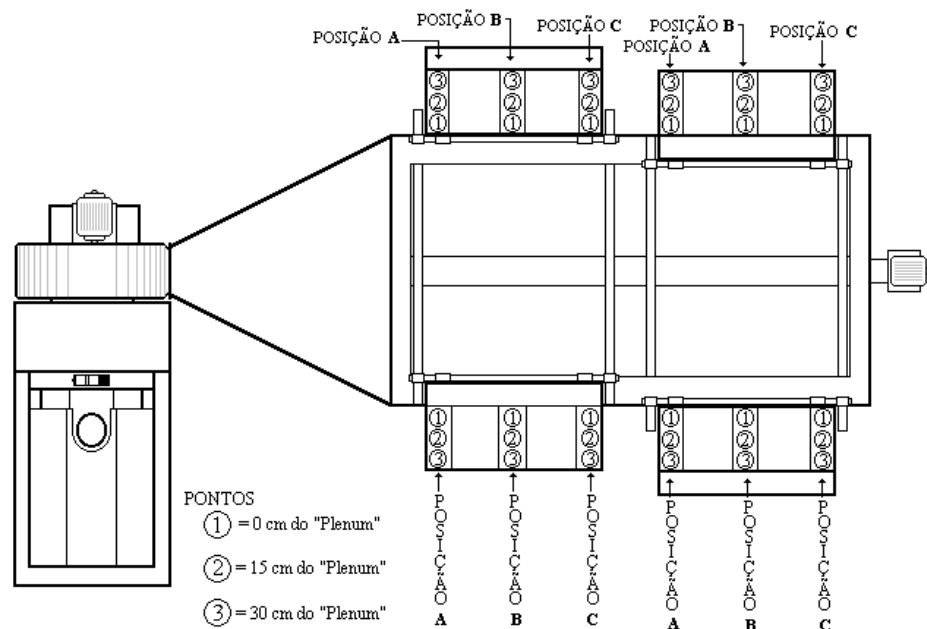


Figura 13 - Esquema mostrando os locais de amostragem de café dentro das câmaras de secagem, para avaliação dos gradientes de teor de umidade.

Para avaliação do gradiente de umidade na massa de grãos, as câmaras foram divididas em três posições de amostragem (A, B e C da Figura 13). Os valores dos teores de umidade determinados nos diversos pontos, para as câmaras 1, 2, 3 e 4, encontram-se nos Quadros 1C, 2C, 3C e 4C, respectivamente.

As Figuras 14, 15, 16 e 17 mostram os gradientes de teor de umidade formados na massa de grãos em quatro alturas (10, 40, 70 e 100 cm), nas câmaras de 1 a 4, respectivamente.

A câmara 1, que sofreu revolvimento, apresentou o menor gradiente de teor de umidade (0,7 ponto percentual, b.u.).

A câmara 2, apesar de sofrer revolvimento, apresentou tendência de formar maior gradiente de teor de umidade que a câmara 1, ou seja, 2,2 pontos percentuais b.u.. Isto ocorreu, possivelmente, devido ao seu posicionamento em relação ao “plenum” do secador.

As câmaras 3 e 4, que não sofreram revolvimento, apresentaram gradientes de teor de umidade de 4,4 e 4,2 % b.u., respectivamente.

Verifica-se, pela Figura 16, que os grãos localizados na parte superior da câmara 3, ou seja, a 100 cm de altura, apresentaram tendência a secar menos. Os valores médios de teor de umidade final determinados para esta altura foram de: $25,5 \pm 3,6$ %, $21,5 \pm 2,0$ % e $35,54 \pm 2,3$ %, para as profundidades de 0; 0,15 e 0,30 m, respectivamente.

A câmara 4, apesar de chegar a um baixo valor médio de teor de umidade ao final da secagem ($11,4 \pm 3,1$ % b.u.), teve tendência de apresentar elevado gradiente de teor de umidade, ou seja, 4,2 pontos percentuais b.u., como mencionado anteriormente.

Com o decorrer da secagem, houve uma redução de 21% do volume do café localizado dentro das câmaras 3 e 4, que permaneceram estáticas. Dessa forma, os grãos localizados na parte superior destas câmaras (20 cm da superfície), que não recebiam o fluxo de ar de secagem no começo do processo, atingiram o nível das chapas perfuradas ao final do teste, passando então a receber o ar de secagem.

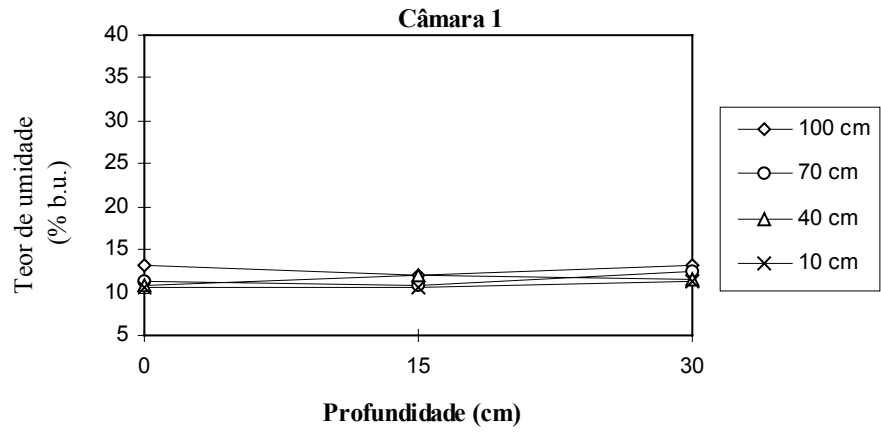


Figura 14 - Gradiente de teor de umidade formado na câmara de secagem 1, nas alturas de 10, 40, 70 e 100 cm.

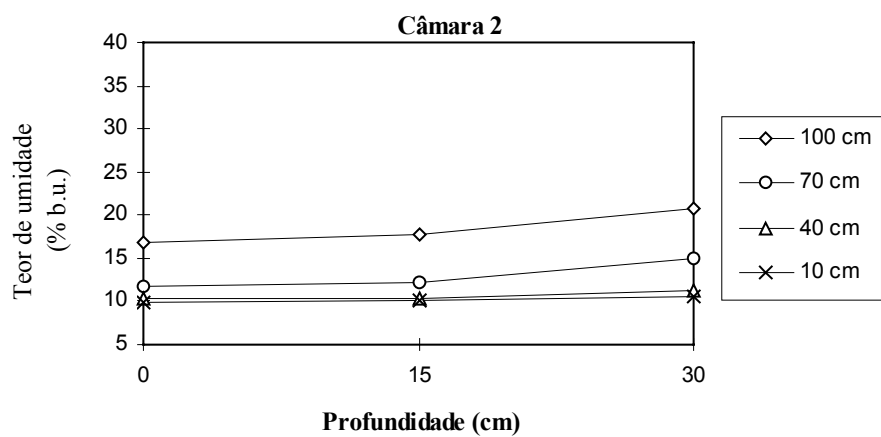


Figura 15 - Gradiente de teor de umidade formado na câmara de secagem 2, nas alturas de 10, 40, 70 e 100 cm.

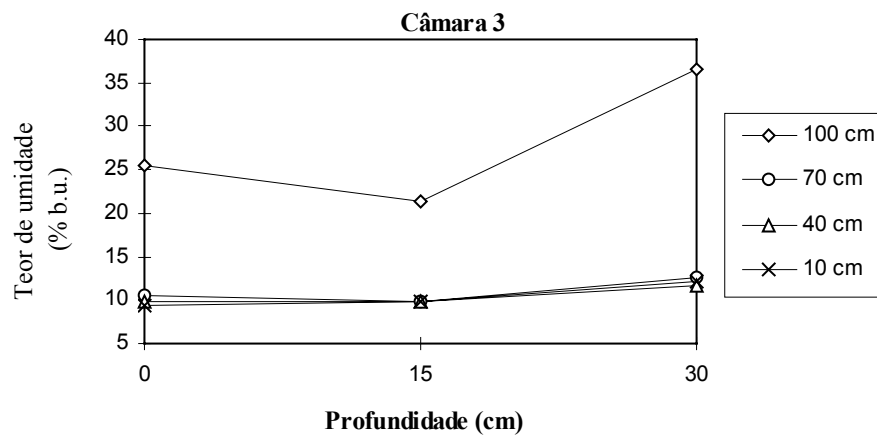


Figura 16 - Gradiente de teor de umidade formado na câmara de secagem 3, nas alturas de 10, 40, 70 e 100 cm.

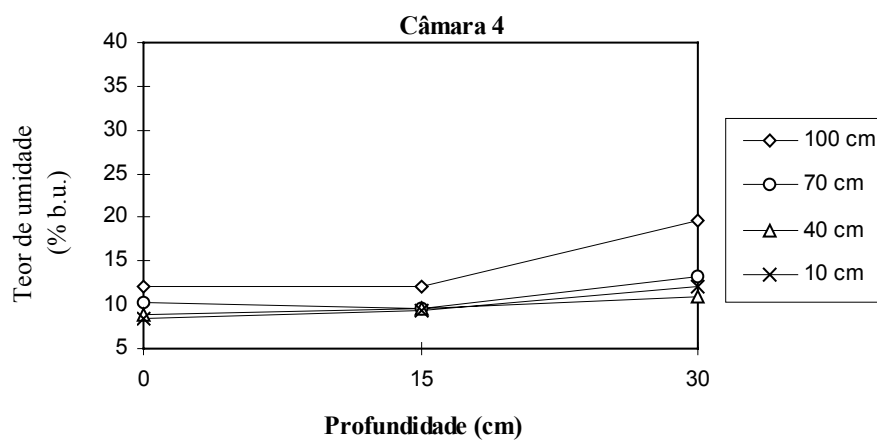


Figura 17 - Gradiente de teor de umidade formado na câmara de secagem 4, nas alturas de 10, 40, 70 e 100 cm.

4.3. Uso da energia

Como a fornalha utilizada no experimento foi do tipo fogo indireto, com trocador de calor, o secador apresentou um consumo de energia relativamente alto, quando comparado com secadores de camada fixa, que utilizam fornalha com fogo direto.

A madeira de eucalipto utilizada, com teor de umidade médio de 14,4 % b.u., teve poder calorífico inferior, de $15.015 \text{ kJ.kg}^{-1}$, determinado pela equação 1.

Durante todo o período de secagem, o motor do ventilador apresentou um consumo de energia de 333,2 MJ.

A eficiência energética de secagem, sem considerar a energia utilizada no motor do ventilador, foi de $12.752 \text{ kJ.kg}^{-1}$ de água evaporada. Considerando a energia utilizada para movimentar o ventilador, a eficiência energética foi de $16.784 \text{ kJ.kg}^{-1}$ de água evaporada.

LACERDA FILHO (1986) obteve uma eficiência energética de $10.000 \text{ kJ.kg}^{-1}$ em experimento em que secou café em coco num secador de camada fixa, com temperatura do ar de secagem de 55°C . Neste experimento, o autor utilizou café de meia seca em terreiro, e, no secador, o teor de umidade foi reduzido de 32,4 para 13 % b.u; porém a fornalha utilizada neste secador era de fogo direto, que apresenta um rendimento energético maior.

Baseando-se nas recomendações da literatura (BIAGI et al., 1992; IBC, 1985; ANDRADE, 1997; CASTRO, 1991), utilizou-se temperatura de secagem abaixo de 45°C ($42,7^\circ\text{C}$), visando obter um produto de melhor qualidade. Dessa forma, o teste teve longa duração, tendo como consequência um elevado consumo de energia elétrica do motor que aciona o ventilador.

4.4. Qualidade do produto

Os resultados da análise sensorial e classificação do café, realizada pela EPAMIG, encontram-se no Quadro 8.

Quadro 8 – Resumo dos resultados da análise sensorial e classificação de café para as quatro câmaras de secagem

Câmara	Bebida	Defeitos	Tipo	Cor	Seca	Fava	Aspecto
01	Dura	114	6-20	Verde	Boa	Média	Bom
02	Dura	114	6-20	Verde	Boa	Média	Bom
03	Dura	102	6-10	Verde	Boa	Média	Bom
04	Dura	90	6-5	Verde	Boa	Média	Bom

Para todas as quatro câmaras, o café apresentou Bebida Dura Ácida, Cor Verde, Seca Boa, Aspecto Bom e Fava Média. As amostras das câmaras que sofreram o revolvimento (câmaras 1 e 2) apresentaram 114 defeitos. As amostras das câmaras que permaneceram estáticas, ou seja, câmaras 3 e 4, apresentaram 102 e 90 defeitos, respectivamente.

O INSTITUTO BRASILEIRO DO CAFÉ (1985) afirma que, para a maioria dos mercados, as características como tipo, aspecto, peneira, cor, seca e torração não influem de maneira tão acentuada no valor do produto como a qualidade de bebida.

Outro aspecto a ser considerado é que o descascador de café utilizado para a classificação pode provocar aumento dos defeitos, segundo relato do classificador.

5. RESUMO E CONCLUSÕES

O presente trabalho foi desenvolvido no setor de pré-processamento de produtos agrícolas do Departamento de Engenharia Agrícola.

Foi projetado, construído e avaliado um protótipo de secador de camada fixa para café. O secador foi construído em alvenaria, sendo composto por quatro câmaras de secagem metálicas, dotadas de movimentação e içadas por um sistema de roldanas e cabos de aço. Estas câmaras foram providas de chapas perfuradas de 1 m^2 , dispostas na região em contato com o “plenum” e na região de exaustão do ar de secagem.

Procedeu-se à operação de revolvimento em duas câmaras, permanecendo duas estáticas, para que se pudesse verificar a influência do revolvimento na redução dos gradientes de teor de umidade desenvolvidos na massa de grãos ao final da secagem.

No teste realizado para avaliar o desempenho do protótipo, foram medidas temperaturas em diversos pontos. A temperatura do ar de secagem utilizada no teste foi de 43°C , e a densidade do fluxo de ar, de $21 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$.

O teor de umidade inicial do produto foi de $43,1 \%$ b.u. Ao final da secagem, os grãos atingiram os teores de umidade de $11,7 \pm 1,1 \%$, $13,0 \pm 3,6 \%$, $14,9 \pm 8,4 \%$ e $11,4 \pm 3,1 \%$ b.u. para as câmaras de 1 a 4, respectivamente.

Devido ao fato de se ter utilizado uma fornalha de fogo indireto, com trocador de calor, o secador apresentou alto consumo específico de energia, quando comparado com outros secadores encontrados na literatura, ou seja, 12.752 kJ por kg de água evaporada, excluindo-se a energia utilizada em forma de eletricidade, e 16.784 kJ por kg de água evaporada, quando se leva em conta a energia utilizada com eletricidade.

Com o intuito de avaliar a homogeneidade de secagem da massa de grãos, ao final do teste foram coletadas amostras de café em 36 posições diferentes, em cada câmara, para determinação do teor de umidade.

Com base nos resultados obtidos no teste, pode-se concluir que:

- A massa de grãos da câmara 1, que sofreu revolvimento, foi a que apresentou menor gradiente de teor de umidade, ou seja, 0,7 ponto percentual b.u.
- A câmara 2, apesar de sofrer o revolvimento, apresentou maior gradiente de teor de umidade que a câmara 1 (2,2 pontos percentuais b.u.).
- As câmaras de secagem 3 e 4, que permaneceram estáticas durante o teste, apresentaram elevados gradientes de teor de umidade, ou seja, 4,4 e 4,2 pontos percentuais b.u., respectivamente.
- Entre as câmaras em que se procedeu ao revolvimento, a câmara número 1 foi a que apresentou maior facilidade na realização desta operação, exigindo menor esforço por parte do operador durante o içamento.
- Devido ao elevado gradiente de teor de umidade encontrado e à maior dificuldade de içamento apresentada pela câmara 4 durante o revolvimento, não se recomenda sua posição de acoplamento ao “plenum”.

Para trabalhos futuros, recomenda-se o seguinte:

- Acoplamento de todas as câmaras de secagem na posição utilizada para a câmara 1 no teste (ilustrada na Figura 2).
- Utilização de quatro roldanas no sistema de içamento, para cada câmara, para que haja menor esforço por parte do operador durante as operações de revolvimento.
- Realização de testes com diferentes intervalos de revolvimento (2, 4 e 6 horas).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, J.G. de **Recomendações básicas para a produção de um café de qualidade.** Guaxupé: COOXUPÉ, 1997. 17p. (Boletim Técnico).
- BAKKER-ARKEMA, F.W., LEREW, L.E., BROOK, R.C., BROOKER, D.B. **Energy and capacity performance evaluation of grain dryers.** St. Joseph, Michigan, ASAE, 1978. 13p. (ASAE Paper, 78-3523).
- BÁRTHOLO, G.F., GUIMARÃES, P.T.G. Cuidados na colheita e preparo do café. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.18, n.187, p.33-42, 1997.
- BERBERT, P.A. **Secagem de café (*Coffea arabica* L.), em camada fixa, com inversão de sentido do fluxo de ar.** Viçosa, Imprensa Universitária, UFV, 1991. 83p. (Tese MS).
- BIAGI, J.D., VALENTINI, S.R.de T., QUEIROZ, D.M. de Secagem de produtos agrícolas. In: CORTEZ, L.A., MAGALHÃES, P.S.G. (coord.) **Introdução à Engenharia Agrícola.** Campinas, SP: Ed. UNICAMP, 1992. p.245-266.
- BRASIL, Ministério da Agricultura e Reforma Agrária, **Regras para análise de sementes (RAS)**, Brasília, 1992. 365p.
- BROOKER, D.B., BAKKER-ARKEMA, F.W., HALL, C.W. **Drying and storage of grains and oilseeds.** New York, AVI Book, 1992. 450p.

- BROOKER, D.B., McKENZIE, B.A., JOHNSON, H.K. **The present status of on-farm grain drying.** St. Joseph, Michigan, ASAE TECHNICAL, 1978. 22P. (Paper 78-3007)
- CARVALHO, N.M. de. **A secagem de sementes.** Jaboticabal: FUNEP, 1994. 165p.
- CARVALHO, V.D., CHAGAS, S.J.de R., SOUZA, S.M.C.de. Fatores que afetam a qualidade do café. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.18, n.187, p.5-20, 1997.
- CARVALHO, V.D., CHALFOUN, S.M. Aspectos qualitativos do café. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.11, 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.).** Viçosa, Imprensa Universitária, UFV, 1991. 61p. (Tese MS).
- CORDEIRO, J.A.B. **Influência da temperatura e do tempo de repouso na secagem de café (*Coffea arabica*, L.) em camadas fixas.** Viçosa, Imprensa Universitária, UFV, 1982. 60p. (Tese MS).
- CORREA, P.C. **Simulação de secagem de café em camada espessa.** Viçosa, MG, UFV, Imprensa Universitária, 1982. 47p. (Tese MS).
- DALPASQUALE, V.A., PEREIRA, J.A.M., SINICIO, R., OLIVEIRA FILHO, D. **Secado de grãos a altas temperaturas.** Santiago, Chile: Oficina Regional de la FAO para America Latina y el Caribe. 1991. 75p.
- DALPASQUALE, V.A. **Secagem de grãos em altas temperaturas.** Viçosa, Centro Nacional de Treinamento em Armazenagem, 1984. 29p.
- GODOY JÚNIOR, C., GRANER, E.A. Colheita e preparo, In: GRANER, E.A., GODOY JÚNIOR, C. **Manual do cafeicultor.** São Paulo: Melhoramentos, 1967. cap. 10, p.231-243.
- GUIMARÃES, A.C. **Secagem de café (*Coffea arabica* L.) combinando sistemas em altas e baixas temperaturas.** Viçosa, MG, UFV, Imprensa Universitária, 1995. 64p. (Tese MS).
- HALL, C.W. **Drying and storage of agricultural crops.** Connecticut. The AVI Publishing, 1980. 381p.

- INSTITUTO BRASILEIRO DO CAFÉ IBC. **Cultura de café no Brasil: manual de recomendações**. 5.ed. Rio de Janeiro, Gráfica IBC - GERCA, 1985. 580p.
- LACERDA FILHO, A.F. de. **Avaliação de diferentes sistemas de secagem e suas influências na qualidade do café (*Coffea arabica* L)**. Viçosa, MG, UFV, Imprensa Universitária, 1986. 136p. (Tese MS).
- MALAVOLTA, E. **Nutrição mineral e adubação do cafeeiro: colheitas econômicas máximas**. São Paulo: Ed. Agrônômica Ceres, 1993. 210p.
- MORICOCHI, L., MARTIN, N.B., VEGRO, C.L.R. Produção de café nos países concorrentes do Brasil e tendências do consumo mundial. **Informações econômicas**, SP, v.27, n.5, p.7-24, 1997.
- 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.D.G., MUIR, W.E. (ed.). **Stored-grain ecosystems**, Marcel Dekker, New York, p.609-659, 1995.
- NUH, D.N., BRINKWORTH, B.J. A novel thin-layer model for crop drying. **Transactions of the ASAE**, v.40, n.3, p.659-669, 1997.
- OSÓRIO, A.G.S. **Projeto e construção de um secador intermitente de fluxo concorrente e sua avaliação na secagem de café**. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa. 1982. 57p. (Tese MS).
- PINTO, F.A.C. **Projeto de um secador de fluxos contracorrentes-concorrentes e análise de seu desempenho na secagem de café (*Coffea arabica* L)**. Viçosa, MG, UFV, Imprensa Universitária, 1993. 72p. (Tese MS).
- PINTO FILHO, G. L. **Desenvolvimento de um secador de fluxos cruzados com reversão do fluxo de ar de resfriamento, para a secagem de café (*Coffea arabica* L)**. Viçosa, MG, UFV, Imprensa Universitária, 1994. 80p. (Tese MS).
- ROSSI, S. J., ROA, G. **Secagem e armazenamento de produtos agropecuários com uso de energia solar e ar natural**. Secretaria da Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia. Academia de Ciências do Estado de São Paulo. Publicação ACIESP n 22, 1980. 295p.

- SABIONI, P.M., FARIA, M.N., HARA, T. Determinador de umidade de grãos experimental - EDABO. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**, 14^o, Fortaleza, 1984. Anais, 1984. 62p.
- SABIONI, P.M. **Projeto e avaliação de um secador de fluxos cruzados, intermitente e com reversão do fluxo de ar, na secagem de milho (*Zea mays* L.)**. Viçosa, MG, UFV, Imprensa Universitária, 1986. 101p. (Tese MS).
- SILVA, J.S., AFONSO, A.D.L., LACERDA FILHO, A.F. Secagem e armazenagem de produtos agrícolas. In: SILVA, J.S., **Pré-processamento de produtos agrícolas**, Juiz de fora - MG, Instituto Maria, p.395 - 461, 1995.
- SILVA, J.S., GOMES, R.A.R., HARA, T., CARVALHO PINTO, F. de A. Estudo de uma fornalha para secagem de grãos com aquecimento direto. **Engenharia na Agricultura**. Série Armazenamento. v.1, n.2, Viçosa, 1991. 15p.
- SILVA, J.S., HARA, T., LACERDA FILHO, A.F., MELO, E.C., CORRÊA, P.C., DONZELES, S. **Alternativas tecnológicas para secagem e armazenagem de grãos**, In: II Simpósio da Pesquisa na UFV. 27 ago./2 set. 1990.
- SILVA, J.S., LACERDA FILHO, A.F. **Construção e operação de secador de grãos**. Viçosa: Imprensa Universitária, 1993. 28p. (Boletim de Extensão, 34).
- SOARES, A.G.O., SILVA, J.S., DALPASQUALE, V.A., OLIVEIRA, J.L. Secagem de café em secadores de fluxo concorrente. **Informe agropecuário**, Belo Horizonte, v.9, n.99. 1983. p.18-24.
- TASCON, C.E.O. **Simulação de secagem de milho em camadas espessas e baixas temperaturas**. Viçosa, MG, UFV, Imprensa Universitária, 1984. 64p. (Tese MS).
- UREMG **Manuseio, secagem e armazenagem de café**. Viçosa, 1969. 283p.
- VIEIRA, G., VILELA, E.R. Secagem intermitente de café (*Coffea arabica* L.) em secador experimental de camada fixa. **Ciência e Prática**, Lavras, v.19, n.3, p. 289-296, jul./set. 1995.
- VILELA, E.R. Secagem e qualidade do café. **Informe agropecuário**, Belo Horizonte, v.18, n.187, 1997. p.55-67.

APÊNDICES

APÊNDICE A

Quadro 1A - Produção mundial de café por continentes e países, 1994-1997

Continentes/país	1994		1995		1996		1997	
	(milhões de sacas)	%	(milhões de sacas)	%	(milhões de sacas)	%	(milhões de sacas)	%
América do Norte/Central	17,6	17,62	19,3	21,47	19,8	19,7	20,7	19,96
Costa Rica	2,5	2,55	2,6	2,89	2,3	2,29	2,4	2,31
El Salvador	2,3	2,34	2,3	2,56	2,4	2,39	2,6	2,51
Guatemala	3,5	3,56	3,8	4,23	4,1	4,08	4,2	4,05
Honduras	2,3	2,34	2,2	2,45	2,3	2,29	2,5	2,41
México	4	0,41	5,4	6,01	5,8	5,77	5,7	5,50
Outros	2,6	2,65	2,9	3,23	2,9	2,88	3,3	3,18
América do Sul	46,1	46,95	34,9	38,82	42,1	41,89	44,3	42,73
Brasil	28	28,5	16,8	18,69	27,5	27,36	28,0	27,0
Colômbia	13	13,32	12,9	14,35	10,3	10,25	11,3	10,9
Equador	2,5	2,55	1,9	2,11	1,8	1,79	1,9	1,84
Peru	1,4	1,43	1,8	2,00	1,5	1,49	1,8	1,74
Outros	1,1	1,12	1,4	1,56	1,0	1,00	1,3	1,25
África	18,2	18,53	18,4	20,47	18,7	18,6	19,5	18,80
Costa do Marfim	3,7	3,77	2,9	3,23	4,6	4,58	3,8	3,66
Etiópia	3,8	3,87	3,8	4,23	4,0	3,98	4,0	3,86
Quênia	1,6	1,63	1,6	1,78	1,3	1,29	1,7	1,64
Tanzânia	0,8	0,81	0,8	0,89	0,7	0,70	0,7	0,86
Uganda	3,1	3,16	4,2	4,67	4,0	3,98	4,0	3,86
outros	5,2	5,3	5,1	5,67	4,1	4,08	5,3	5,10
Ásia/Oceania	16,7	17,01	17,2	19,13	19,9	19,80	19,2	18,51
Índia	3,1	3,16	3,7	4,12	3,4	3,38	3,7	3,57
Indonésia	6,4	6,52	6	0,67	7,6	7,56	6,8	6,56
Vietnã	3,5	3,56	4	0,44	4,2	4,18	5,0	4,81
Outros	3,7	3,77	3,60	4,00	4,7	4,68	3,7	3,57
Total	98,2	100,0	89,9	100,0	100,5	100,0	103,7	100,00

Fonte: MORICOGHI et al. (1997).

Quadro 2A - Teores de umidade nos diversos tipos de café

Tipos de Café	Teor de Umidade (% b.u.)
Verde	60 a 70
Cereja	45 a 55
Passa	30 a 40
coco	20 a 30
Ao ser despulpado	50 a 55
Teor de umidade do café para o benefício	10 a 12 (ideal 11 a 11,5)
Café em coco, seco em terreiro, antes de ser levado à tulha	11 a 12
Café em coco, seco em secador, antes de ser levado à tulha	13 a 14
Café de terreiro após pré-secagem de cinco a seis dias antes de ir para o secador (meia-seca)	30 (25 a 35)
Umidade de armazenamento de café despulpado já beneficiado	12 a 13

Fonte: BÁRTHOLO e GUIMARÃES (1997).

Quadro 3A - Equivalência dos grãos imperfeitos para a classificação quanto ao tipo

Número de defeitos e impurezas	Equivalência em defeitos
Um grão preto	1
Uma pedra, pau ou torrão grande	5
Uma pedra pau ou torrão regular	2
Uma pedra. pau ou torrão pequeno	1
Um coco	1
Uma casca grande	1
Dois ardidos	1
Dois marinheiros	1
Duas a três cascas pequenas	1
Dois a cinco brocados	1
Três chochos	1
Cinco verdes	1
Cinco quebrados	1
Cinco chochos ou malgranados	1

Fonte: BÁRTHOLO e GUIMARÃES (1997).

APÊNDICE B

Quadro 1B - Tempo de secagem, temperaturas ambiente, do ar de secagem, ar no “plenum”, nas câmaras de secagem, ar de exaustão e umidade relativa do ar ambiente, registradas durante o teste do secador

Tempo (h)	Temperatura (“C)										U.R. (%)
	A	S	P1	P2	G1	G2	G3	G4	E1	E2	
7	13,5	40,9	38,1	38,5	36,3	36,8	37,0	36,7	28,9	30,5	86,7
8	14,1	48,1	44,7	45,0	39,7	40,5	42,4	41,4	31,1	32,9	86,9
9	13,9	42,9	39,8	41,7	38,1	39,0	39,1	38,9	32,8	33,5	87,7
10	13,6	42,8	39,6	40,4	37,5	38,7	39,0	38,6	30,6	30,9	86,3
11	12,9	44,3	41,7	42,3	39,1	39,5	40,4	40,2	32,4	33,3	86,9
12	12,4	42,6	39,8	41,1	37,9	38,7	38,6	38,6	32,1	32,8	87,8
13	12,9	42,6	38,8	39,9	37,4	37,9	38,1	38,1	30,9	31,8	87,2
14	15,7	40,7	38,2	39,3	36,7	37,6	37,3	37,4	32,8	35,1	88,5
15	17,8	43,6	42,7	42,2	39,2	40,0	40,5	40,6	33,5	36,3	81,9
16	21,1	42,8	41,9	42,1	39,4	40,7	41,4	41,5	36,7	37,4	72,3
17	22,9	43,1	40,3	42,2	38,7	39,8	40,5	40,5	34,5	35,5	66,5
18	24,1	43,7	40,9	42,1	37,8	38,9	39,5	39,6	33,9	34,9	61,6
19	24,6	43,4	40,7	41,9	38,9	39,8	40,4	40,6	34,2	35,3	59,7
20	25,2	42,1	39,5	41,2	38,0	39,1	39,4	39,4	34,4	35,1	59,5
21	23,1	41,4	38,6	40,6	37,2	38,3	38,3	38,5	33,8	34,5	72,3
22	22,1	42,2	39,3	41,4	37,8	38,9	39,1	39,2	33,3	34,1	75,9
23	18,9	42,9	40,1	41,6	38,7	39,4	39,6	39,8	33,4	33,9	82,3
24	17,6	42,9	40,9	41,5	38,9	39,8	39,9	40,0	33,8	34,6	85,4
25	16,6	41,8	39,9	40,2	38,4	39,1	39,4	39,4	32,6	33,7	87,7
26	16,1	43,4	40,5	42,3	40,0	40,1	40,7	40,9	33,9	34,9	87,3
27	14,6	40,5	38,4	39,0	38,3	38,7	38,7	39,0	33,9	34,9	89,6
28	14,3	39,7	37,4	39,6	37,4	37,5	37,9	38,2	31,4	32,3	89,0
29	14,5	41,1	38,5	40,2	37,9	38,7	38,8	39,2	33,2	34,3	87,4
30	14,0	41,4	39,1	40,5	39,1	40,0	39,9	40,4	35,1	36,5	89,8
31	14,1	42,5	39,8	41,1	38,8	39,6	39,7	40,2	34,5	35,9	90,0
32	13,8	40,7	38,4	39,4	38,7	39,7	39,7	40,0	33,1	34,6	90,5
33	13,6	46,2	42,6	44,5	41,5	42,2	42,7	43,3	35,8	37,2	90,0
34	13,7	42,0	39,2	40,2	40,1	40,4	41,1	41,5	32,3	34,0	89,4
35	13,4	40,5	37,9	39,9	38,1	39,0	38,5	39,1	35,4	36,8	90,0
36	13,1	44,7	41,5	43,3	41,0	41,5	41,9	42,3	35,9	37,7	90,1
37	13,2	42,3	38,8	40,5	38,9	39,6	39,3	39,8	35,8	37,1	89,7
38	15,8	43,5	40,8	42,0	40,3	41,2	40,9	41,3	37,1	39,3	91,1
39	18,5	47,9	44,7	45,3	44,9	45,5	46,1	46,3	39,9	40,2	81,3
40	21,3	43,32	40,7	42,3	40,0	41,2	41,1	41,2	37,8	39,3	71,7
41	23,4	45,7	42,0	42,2	42,6	43,9	44,6	44,3	34,3	36,1	64,2
42	24,4	36,9	35,2	35,1	35,8	37,3	36,1	36,3	37,2	38,6	61,5

(A) = Temperatura ambiente; (S) = Temperatura do ar de secagem (medido na expansão); (P1) = Temperatura no “plenum” no ponto 1; (P2) = Temperatura no “plenum” no ponto 2; (G1) = Temperatura do ar na massa de grãos da câmara 1; (G2) = Temperatura do ar na massa de grãos da câmara 2; (G3) = Temperatura do ar na massa de grãos da câmara 3; (G4) = Temperatura do ar na massa de grãos da câmara 4; (E1) = Temperatura do ar de exaustão da câmara 1; (E2) = Temperatura do ar de exaustão da câmara 3; (UR) = Umidade relativa do ar ambiente.

APÊNDICE C

Quadro 1C - Teores de umidade encontrados em três profundidades, quatro alturas e três posições dentro da câmara 1, ao final do teste do secador

Altura (cm)	Profundidade (cm)	Teor de Umidade (% b.u.)			Média
		Posição			
		A	B	C	
100	0	13,4	12,9	13,2	13,2
	15	12,5	11,4	12,4	12,1
	30	13,2	12,8	13,5	13,2
70	0	12,1	10,7	11,2	11,4
	15	11,4	10,0	11,3	10,9
	30	13,2	11,6	12,6	12,5
40	0	11,4	10,1	11,1	10,8
	15	11,3	10,4	14,5	12,1
	30	11,6	11,7	11,5	11,6
10	0	11,0	10,1	10,5	10,5
	15	11,5	10,2	10,4	10,7

Quadro 2C - Teores de umidade encontrados em três profundidades, quatro alturas e três posições dentro da câmara 2, ao final do teste do secador

Altura (cm)	Profundidade (cm)	Teor de Umidade (% b.u.)			Média
		Posição			
		A	B	C	
100	0	20,3	15,7	14,3	16,8
	15	17,0	18,5	17,9	17,8
	30	21,6	19,8	20,9	20,8
70	0	12,3	11,9	10,7	11,6
	15	11,4	13,1	12,2	12,2
	30	15,5	14,4	14,7	14,9
40	0	11,1	9,8	10,2	10,4
	15	10,1	10,7	10,3	10,4
	30	11,2	11,1	11,3	11,2
10	0	10,4	9,7	9,6	9,9
	15	10,1	10,1	10,0	10,0
	30	10,9	10,6	10,1	10,5


Quadro 3C - Teores de umidade encontrados em três profundidades, quatro alturas e três posições dentro da câmara 3, ao final do teste do secador

Altura (cm)	Profundidade (cm)	Teor de Umidade (% b.u.)			Média
		Posição			
		A	B	C	
100	0	22,9	29,5	24,0	25,5
	15	20,0	23,7	20,7	21,5
	30	33,9	38,1	37,6	36,5
70	0	10,1	10,4	11,2	10,6
	15	9,6	9,7	10,1	9,8
	30	11,4	12,3	13,9	12,5
40	0	9,5	9,6	10,2	9,7
	15	10,2	9,2	9,9	9,8
	30	11,2	11,7	12,2	11,7
10	0	9,5	9,2	9,4	9,4
	15	9,9	9,6	9,9	9,8
	30	11,5	11,9	13,0	12,1

Quadro 4C - Teores de umidade encontrados em três profundidades, quatro alturas e três posições dentro da câmara 4, ao final do teste do secador.

Altura (cm)	Profundidade (cm)	Teor de Umidade (% b.u.)			Média
		Posição			
		A	B	C	
100	0	12,8	11,4	12,1	12,1
	15	11,4	12,3	12,4	12,0
	30	20,7	20,7	17,9	19,7
70	0	11,6	8,7	10,3	10,2
	15	10,2	8,8	9,5	9,5
	30	12,8	15,5	11,7	13,3
40	0	9,0	9,1	8,5	8,9
	15	9,7	9,2	9,9	9,6
	30	10,9	11,0	10,7	10,9
10	0	8,8	8,2	8,0	8,3
	15	8,6	9,6	10,1	9,4
	30	11,3	12,3	12,9	12,2

APÊNDICE D

 EPAMIG	EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DE MINAS GERAIS - EPAMIG Centro Regional de Pesquisa do Sul de Minas - Fazenda Experimental de Lavras Caixa Postal, 176 - 37.200-000 - Lavras - MG - Fonefax - (035) 821.6244 - 821.2221
LABORATÓRIO DE QUALIDADE DE CAFÉ "DR. ALCIDES CARVALHO"	

ANÁLISE SEXSORIAL E CLASSIFICAÇÃO DE CAFÉ

PRODUTOR E OU EMPRESA: Alessandro Torres Campos

PROPRIEDADE:

MUNICÍPIO:

RESULTADO LOTE N° 01

BEBIDA	DEFEITOS	TIPO	COR	SECA	FAVA	ASPECTO
DA	114	6-20	VERDE	BOA	MÉDIA	BOM

LAVRAS, 04 DE SETEMBRO DE 1997

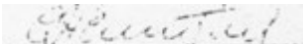


GERALDO HENRIQUE DE CASTRO
PROVADOR E CLASSIFICADOR
EPAMIG - CRSM - LAVRAS/MG

Figura 1D - Análise sensorial e classificação do café (amostra da câmara 1)



EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DE MINAS GERAIS - EPAMIG
 Centro Regional de Pesquisa do Sul de Minas - Fazenda Experimental de Lavras
 Caixa Postal, 176 - 37.200-000 - Lavras - MG - Fonefax - (0351) 821 6244 - 821 2224

LABORATÓRIO DE QUALIDADE DE CAFÉ
 "DR. ALCIDES CARVALHO"

ANÁLISE SENSORIAL E CLASSIFICAÇÃO DE CAFÉ

PRODUTOR E OU EMPRESA: Alessandro Torres Campos

PROPRIEDADE:

MUNICÍPIO:

RESULTADO LOTE N° 02

BEBIDA	DEFEITOS	TIPO	COR	SECA	FAVA	ASPECTO
DA	114	6-20	VERDE	BOA	MÉDIA	BCM

LAVRAS, 04 DE SETEMBRO DE 1997

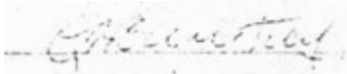

 GERALDO HENRIQUE DE CASTRO
 PROVADOR E CLASSIFICADOR
 EPAMIG - CRSM - LAVRAS/MG

Figura 2D - Análise sensorial e classificação do café (amostra da câmara 2).



EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DE MINAS GERAIS - EPAMIG
Centro Regional de Pesquisa do Sul de Minas - Fazenda Experimental de Lavras
Caixa Postal. 176 - 37.200-000 - Lavras - MG - Fonefax - (035) 821.6244 - 821.2231

LABORATÓRIO DE QUALIDADE DE CAFÉ
"DR. ALCIDES CARVALHO"

ANÁLISE SENSORIAL E CLASSIFICAÇÃO DE CAFÉ

PRODUTOR E OU EMPRESA: Alessandro Tom Campos

PROPRIEDADE:

MUNICIPIO

RESULTADO LOTE N° 03

BEBIDA	DEFEITOS	TIPO	COR	SECA	FAVA	ASPECTO
DA	102	6-10	VERDE	BOA	MÉDIA	BOM

L A W . 04 DE SETEMBRO DE 1997

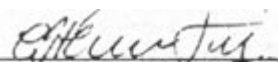

GERALDO HENRIQUE DE CASTRO
PROVADOR E CLASSIFICADOR
EPAMIG - CRSM - LAVRAS/MG

Figura 3D - Análise sensorial e classificação do café (amostra da câmara 3).



EPAMIG

EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DE MINAS GERAIS - EPAMIG
Centro Regional de Pesquisa do Sul de Minas - Fazenda Experimental de Lavras
Caixa Postal. 176 - 37.200-000 - Lavras - MG - Fonefax - (035) 821 6244 - 821 2231

LABORATÓRIO DE QUALIDADE DE CAFÉ
"DR. ALCIDES CARVALHO"

ANÁLISE SENSORIAL E CLASSIFICAÇÃO DE CAFÉ

PRODUTOR E OU EMPRESA. Alessandro Torres C a m p

PROPRIEDADE:

MUNICÍPIO:

RESULTADO LOTE N° 04

BEBIDA	DEFEITOS	TIPO	COR	SECA	FAVA	ASPECTO
DA	90	6-5	VERDE	BOA	MÉDIA	BOM

LAVRAS, 04 DE SETEMBRO DE 1997.

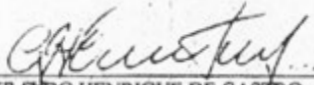

GERALDO HENRIQUE DE CASTRO
PROVADOR E CLASSIFICADOR
EPAMIG - CRSM - LAVRAS/MG

Figura 4D - Análise sensorial e classificação do café (amostra da câmara 4).