

**AVALIAÇÃO TÉCNICA, ECONÔMICA E  
QUALITATIVA DO USO DE LENHA E GLP  
NA SECAGEM DE CAFÉ**

**CARLOS HENRIQUE RODRIGUES REINATO**

**2002**



**CARLOS HENRIQUE RODRIGUES REINATO**

**AVALIAÇÃO TÉCNICA, ECONÔMICA E QUALITATIVA DO USO DE  
LENHA E GLP NA SECAGEM DE CAFÉ**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação Stricto-Sensu em Ciência dos Alimentos para obtenção do título de "Mestre".

**Orientador**

**Prof. Dr. Flávio Meira Borém**

**LAVRAS  
MINAS GERAIS - BRASIL**

**2002**

**CARLOS HENRIQUE RODRIGUES REINATO**

**AVALIAÇÃO TÉCNICA, ECONÔMICA E QUALITATIVA DO USO DE  
LENHA E GLP NA SECAGEM DE CAFÉ**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação Stricto-Sensu em Ciência dos Alimentos para obtenção do título de "Mestre".

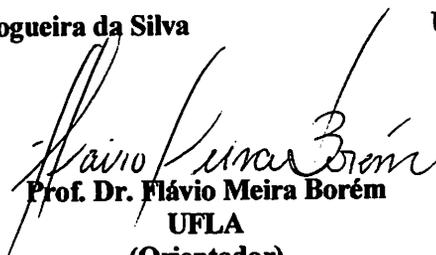
**APROVADA em 28 de fevereiro de 2002**

**Prof. Dra. Rosemary G. Fonseca A. Pereira**

**UFLA**

**Prof. Dr. Jadir Nogueira da Silva**

**UFV**



**Prof. Dr. Flávio Meira Borém**

**UFLA**

**(Orientador)**

**LAVRAS  
MINAS GERAIS - BRASIL**

*A Deus, pelo dom da vida, saúde e presença constante em minhas caminhadas;  
Aos meus pais, Carlos Alberto Reinato e Geruza Helena Rodrigues Reinato,  
exemplos de caráter e abnegação, nunca poupando esforços para a realização  
dos meus objetivos.*

*Á minha noiva, Rosicler Aparecida de Oliveira, presença marcante em minha  
vida, ao meu lado em todos os momentos, com carinho, amor e compreensão.*

**DEDICO**

*Aos meus irmãos,*

*Luiz Felipe Rodrigues Reinato  
Livia Helena Rodrigues Reinato e  
Ana Paula Rodrigues Reinato*

**OFEREÇO**

## AGRADECIMENTOS

A DEUS, pela existência de tudo.

Ao professor Dr. Flávio Meira Borém, amigo e companheiro de todas as horas, por mais que a orientação deste trabalho: pela amizade sincera, pelos ensinamentos de vida, convivência e colaboração encontrados nos vários setores de nosso trabalho. O meu reconhecimento e amizade, levando para a minha vida afora tudo que aprendi durante este tempo. Professor e amigo competente, que pelo seu carisma, é capaz de marcar a vida de todos aqueles com quem cruza no trajeto da vida. Sinceramente, meu agradecimento e votos que Deus lhe abençoe sempre e que você possa continuar trabalhando em prol da coletividade.

A também competente professora Rosemary G.F.Alvarenga Pereira, pela amizade, convívio, sugestões e conselhos amigos doados durante este período.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA), especialmente ao Departamento de Ciência dos Alimentos (DCA), pela oportunidade concedida para realização do curso.

Ao Conselho Nacional de Pesquisa, pela concessão de bolsa de estudo durante o curso de mestrado.

À equipe de orientação, na pessoa do professor Dr. Evódio Ribeiro Vilela e ao professor Francsival de Melo Carvalho, pelas sugestões apresentadas.

À Pinhalense, Ultragaz e Ecogás, pelos recursos financeiros concedidos para realização do trabalho na fase experimental.

À Nossa Senhora da Aparecida, companheira de todos os instantes, luz no meu caminho, pela força nos momentos mais difíceis desta caminhada, sempre intercedendo junto ao Pai por mim.

Aos meus pais, pelo apoio e incentivo, que foram fundamentais nesta caminhada.

À minha noiva, pelo amor, dedicação, apoio, incentivo e compreensão.

Aos amigos Cássio de Carvalho Júnior e Túlio Vilela pela grandiosa amizade, pela ajuda, pela convivência e pelos incentivos e colaborações durante as diversas etapas do curso de Mestrado.

Aos colegas Deise, Osvaldo, Pablo, pela amizade e ajuda na fase experimental.

Ao meu cunhado Wim, pelo apoio e pela amizade.

Ao Centro de Cafeicultura da Universidade Federal de Lavras pelo fornecimento da matéria-prima e ao Sr. César Augusto de Moura (Zeca), pela ajuda na organização na fase de colheita e atenção dispensada.

Aos funcionários Márcio, César, José Maurício, pela boa vontade e paciência em ajudar na realização e montagem do experimento.

À secretária Gicelda Aparecida de Souza, pela atenção, amizade e paciência durante as etapas do curso de mestrado.

Ao José Claudemir, da Pinhalense, pela atenção, dedicação, paciência e sugestões na montagem e instalação dos equipamentos.

Aos professores e funcionários do DCA (UFLA), colegas de pós-graduação e a todos que, de alguma forma contribuíram para o êxito deste trabalho.

## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
RESUMO.....	i
ABSTRACT .....	iii
1 INTRODUÇÃO .....	01
2 REFERENCIAL TEÓRICO .....	04
2.1 Secagem do café.....	04
2.2 Secadores rotativos .....	06
2.3 Temperaturas de secagem .....	07
2.4 Fluxo de ar .....	11
2.5 Avaliação de desempenho de secagem .....	12
2.6 Combustíveis.....	15
2.6.1 A lenha como combustível.....	15
2.6.2 O GLP como combustível.....	16
2.7 Qualidade do café.....	18
2.8 Custo de secagem .....	22
3 MATERIAL E MÉTODOS .....	26
3.1 Matéria-prima.....	26
3.2 Testes experimentais.....	27
3.2.1 Teste 1.....	28
3.2.2 Teste 2.....	29
3.2.3 Teste 3.....	29
3.2.4 Teste 4.....	29
3.3 Determinação da temperatura e umidade do ar ambiente .....	31
3.4 Temperatura do ar de secagem.....	31
3.4.1 Temperatura do ar do plenum, da massa de café e do ar de exaustão.....	32
3.5 Umidade do café.....	35
3.6 Caracterização técnica e energética do sistema de secagem .....	37

---

---

was accomplished through the thermocouple situated in the middle of the mass. In the fourth test, the temperature and moisture gradients occurred in a manner similar to both dryings. From the energetic and economic viewpoint, the drying in which the flame worked in a continuous manner was the most efficient and presented a total cost 13.4% lower than the drying in which the flame worked in an intermittent manner.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	50
4.1 Variações da temperatura do ar no plenum, temperatura e umidade da massa de café no sentido radial e longitudinal durante os testes que compararam o uso de GLP e lenha como combustíveis para o aquecimento do ar. ....	50
4.2 Variações médias da temperatura do ar de secagem, temperatura e umidade da massa de café, durante os testes que compararam o uso de GLP e lenha como combustíveis. ....	65
4.3 Avaliação energética.....	67
4.4 Avaliação qualitativa .....	71
4.5 Avaliação econômica.....	76
4.5.1 Custo de combustível.....	76
4.5.2 Custo total .....	78
4.6 Variações da temperatura do ar no plenum, temperatura e umidade da massa de café, no sentido radial e longitudinal durante o teste que comparou a secagem do café com controle da temperatura da massa realizado em duas posições diferentes .....	81
4.7 Variações médias da temperatura do ar de secagem, temperatura e umidade da massa de café, durante o teste que comparou a secagem do café com controle da temperatura da massa realizado em duas posições diferentes.....	89
4.8 Avaliação energética.....	90
4.9 Avaliação qualitativa .....	93
4.1 .Avaliação econômica.....	96
4.10.1 Custo de combustível.....	96
4.10.2 Custo total .....	99

4.11 Variações da temperatura do ar no plenum, temperatura e umidade da massa de café, no sentido radial e longitudinal durante os testes que compararam o funcionamento do queimador operando com chama de maneira contínua e intermitente. ....	101
4.12 Variações médias da temperatura do ar de secagem, temperatura e umidade da massa de café, durante os testes que compararam o funcionamento do queimador operando com chama de maneira contínua e intermitente.....	108
4.13 Avaliação energética.....	109
4.14 Avaliação qualitativa .....	112
4.15 Avaliação econômica.....	114
4.15.1 Custo de combustível.....	114
4.15.2 Custo total .....	116
5 CONCLUSÃO .....	117
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	119

## RESUMO

REINATO, Carlos Henrique Rodrigues. **Avaliação técnica, econômica e qualitativa do uso de lenha e do GLP na secagem do café.** 2002, 126p. (Dissertação Mestrado em Ciência dos Alimentos)-Universidade Federal de Lavras, Lavras.

O presente estudo foi realizado no Pólo de Tecnologia em Pós-Colheita de Café, na Universidade Federal de Lavras, MG. Seu objetivo foi avaliar técnica, econômica e qualitativamente a secagem do café usando lenha e GLP como combustíveis para o aquecimento do ar. Foram realizados quatro testes usando simultaneamente dois secadores rotativos com capacidade de 5.000 litros. No primeiro e segundo testes, comparou-se a secagem do café usando-se lenha e GLP como combustíveis. No terceiro teste foram comparados diferentes locais de controle de temperatura na massa de café. Em um secador, o controle de temperatura foi o convencionalmente usado pelos produtores, que caracteriza-se pelo uso do termômetro bimetalico situado no cilindro do secador. Já, no outro secador, o controle da temperatura foi feito por meio de um termopar situado no meio da massa. No quarto teste, comparou-se o funcionamento do queimador com chama contínua e chama intermitente. O acompanhamento de temperatura do ar de secagem e da massa de café foram feitos por meio de termopares distribuídos em dezoito pontos do secador. A perda de umidade foi acompanhada em nove pontos na massa de café. Para a avaliação da qualidade, realizaram-se as seguintes análises: lixiviação de potássio, condutividade elétrica, determinação do número de grãos defeituosos e manchados, análise sensorial e acidez titulável total. Para tais análises utilizaram-se amostras com e sem a presença de defeitos. A avaliação econômica foi feita calculando-se os custos de mão-de-obra, combustível, energia elétrica, depreciação de capital fixo e custo total. Observou-se que no primeiro e segundo teste ocorreu maior oscilação de temperatura, menor eficiência de secagem e maior consumo específico de energia nas secagens que fizeram uso de lenha; no entanto, não foram observadas diferenças no custo total e na qualidade do café entre as secagens com lenha e GLP. No terceiro teste, observou-se na secagem na qual o controle de temperatura foi realizado por meio do termômetro bimetalico, maior eficiência de secagem e menor custo total. No entanto, ocorreu maior gradiente de temperatura e umidade e uma qualidade inferior do café

---

Comitê orientador: Flávio Meira Borém – DEG-UFLA (Orientador)  
Evódio Ribeiro Vilela- DCA-UFLA (Co-orientador)  
Francisval de Melo Carvalho-DAE -UFLA (Co-orientador)

quando comparado com a secagem na qual o controle de temperatura foi realizado por meio do termopar situado no meio da massa. No quarto teste os gradientes de temperatura e umidade ocorreram de maneira semelhante para ambas as secagens. Do ponto de vista energético e econômico, a secagem em que a chama funcionou de maneira contínua foi mais eficiente e apresentou um custo total 13,4% menor do que a secagem em que a chama funcionou de maneira intermitente.

## ABSTRACT

REINATO, Carlos Henrique Rodrigues. **Technical, economic and qualitative evaluation of the use of GLP in coffee drying.** Lavras: 2002, 126 p. (Dissertation Master In Food Science)-Universidade Federal de Lavras, Lavras.

The present study was undertaken in the Polo de Tecnologia de Pós-Colheita de Café (Technology Pole in Coffee Post-Harvest) at the Universidade Federal de Lavras, MG. Its objective was to evaluate technically, economically and qualitatively coffee drying by using firewood and GLP as fuels for the heating of the air. Four tests were performed simultaneously, by using two 5.000 liter-capacity rotating dryers. In the first and second test, coffee drying by using firewood and GLP as fuels were compared. In the third test were compared different sites of control of coffee mass. In a dryer, temperature control was that conventionally used by farmers, which is characterized by the use of the bimetallic thermometer situated on the dryer cylinder, but in the other dryer, temperature control was performed by means of a thermocouple situated in the middle of the mass. In the fourth test, the functioning of the continuous and intermittent flame burner was compared. The monitoring of temperature of the drying air and coffee mass were done by means of thermocouples distributed on eighteen points of the dryer. Moisture loss was accompanied on nine points on the coffee mass. The quality evaluation was performed by utilizing the following analyses: potassium leakage, electric conductivity, determination of the number of defected and stained beans, sensorial analysis and total titrable acidity. For such analyses, samples with and without the presence of defects were utilized. The economical evaluation was done by calculating the costs of labor, fuel, electric energy, fixed capital depreciation and total cost. It was found that in the first and second tests occurred a greater temperature oscillation, less drying efficiency and greater specific consumption of energy on dryings which used firewood; nevertheless, no differences were observed in total cost and coffee quality between dryings which made use of firewood and GLP. In the third test, increased drying efficiency and lower total cost were found in the drying in which temperature control was performed by means of the bimetallic thermometer, however, greater temperature and moisture gradient and a poorer quality of coffee occurred as compared with drying in which temperature control

---

Guidance Committee: Flávio Meira Borém \_ DEG-UFLA ( Adviser )  
Evódio Ribeiro Vilela \_DCA-UFLA ( Co-adviser)  
Francival de Melo Carvalho -DAE-UFLA ( Co-Adviser)

was accomplished through the thermocouple situated in the middle of the mass. In the fourth test, the temperature and moisture gradients occurred in a manner similar to both dryings. From the energetic and economic viewpoint, the drying in which the flame worked in a continuous manner was the most efficient and presented a total cost 13.4% lower than the drying in which the flame worked in an intermittent manner.

# 1 INTRODUÇÃO

A cafeicultura, como qualquer outra atividade produtiva e econômica, deve buscar sempre a melhor interação entre produtividade, qualidade e redução de custos de produção.

Nos atuais mercados nacional e internacional de café, a qualidade é fundamental, devendo o produto apresentar propriedades físicas, químicas sensoriais e higiênico-sanitárias de acordo com os padrões estabelecidos. Estas propriedades dependem de diversos fatores na pré-colheita, durante a colheita, processamento e armazenamento.

Devido à alta umidade no momento da colheita (60% a 70% b.u.) os frutos do café apresentam condições favoráveis a alterações deteriorativas em decorrência da respiração, oxidações, fermentações e desenvolvimento de fungos e bactérias. Sendo assim, para se obter um café de boa qualidade, minimizando os riscos de ocorrência de alterações indesejadas, faz-se uso da secagem. Entre outros fatores, a secagem é uma das mais importantes fases no processamento do café, tanto sob o aspecto de consumo de energia como na influência que essa operação tem sobre a qualidade final do produto.

De maneira geral, a secagem do café pode ser natural ou artificial. A secagem natural é caracterizada pela secagem do produto no campo, sem a interferência do homem, enquanto a secagem artificial caracteriza-se pela utilização de processos manuais ou mecânicos, podendo utilizar ventilação natural ou forçada por meio de ventiladores.

A secagem artificial com altas temperaturas teve maior impulso somente a partir da década de 60, com o aparecimento de secadores de grande porte. Anteriormente, quase todos os produtos agrícolas eram secados no próprio

campo ou em terreiro onde eram expostos diretamente à radiação solar e revolvidos periodicamente a fim de acelerar o processo (Tosello, 1957).

Para o aquecimento do ar são utilizados dispositivos denominados fomalhas ou queimadores.

Na secagem do café, a fomalha de fogo indireto tem sido a de uso mais freqüente. Essas fomalhas produzem ar quente próprio para a secagem visto que o ar é isento de impurezas e odores que alteram a qualidade final do café. Apresenta, porém, baixa eficiência térmica e, muitas vezes, danos térmicos às grelhas e aos trocadores de calor. As fomalhas de fogo direto, apesar da vantagem da facilidade de construção é maior eficiência térmica, apresentam a desvantagem de gerar energia com fumaça que pode contaminar o produto, inviabilizando sua comercialização (Silva et al. 1998).

Os queimadores são equipamentos que possuem as funções de estabelecer o posicionamento e tipo de chama, bem como de manter a ignição contínua ou intermitente, segundo a seleção de uma mistura prévia de ar e combustível gasoso (Cliford, 1962).

Entre os combustíveis utilizados na secagem tem-se feito uso principalmente da lenha e, mais recentemente, do GLP (gás liquefeito de petróleo). A lenha, combustível à base de celulose e empregada em diversos países, tem como vantagem a possibilidade do emprego de mão-de-obra não qualificada, porém possui baixa eficiência térmica (17%) e baixo poder calorífico ( $13.000 \text{ kJ.kg}^{-1}$ ) quando comparado ao GLP. Além disso, o uso da lenha apresenta sérias limitações no que se refere à questão ambiental. Além de produzir resíduos poluentes provenientes da queima incompleta, diminui a área coberta com vegetação nativa podendo causar sérios impactos na fauna e na estabilização dos mananciais aquáticos.

O GLP é um combustível de uso recente na secagem do café. Sua principal vantagem é a praticidade no manuseio e a constância no fornecimento

de calor, além de possuir boa eficiência térmica (60%) e um poder calorífico alto ( $47440 \text{ kJ.kg}^{-1}$ ) em relação à lenha. Como desvantagem o GLP possui uma instabilidade de seu custo, pois seu preço está vinculado ao preço do petróleo, além de exigir mão-de-obra qualificada.

Existe grande divergência entre técnicos da área de secagem na recomendação da opção mais econômica para o combustível a ser usado na secagem. Muitos produtores e técnicos consideram apenas o custo de combustível para a avaliação econômica. No entanto, custos de depreciação, energia elétrica e mão-de-obra devem ser considerados para obter uma análise mais completa.

Um parâmetro indireto de grande importância no caso do café é a sua qualidade, a qual exerce um diferencial muito grande na relação custo-benefício do processo de secagem.

A secagem de café utilizando o GLP tem sido empregada em diversas propriedades agrícolas. No entanto, observa-se uma falta de conhecimento principalmente no que se refere ao controle de temperatura da massa de café e a maneira como a chama é conduzida durante a secagem.

Neste contexto, tendo em vista a necessidade de reduzir o custo de produção e visto que o processo de secagem tem grande influência no custo total de produção, este trabalho tem como objetivos principais determinar o custo de secagem do café usando lenha e GLP como combustíveis para o aquecimento do ar, bem como avaliar tecnicamente diferentes manejos na secagem com GLP, com vistas à redução do custo e otimização da qualidade final do produto. Como objetivo específico, busca-se avaliar a distribuição de temperatura e umidade durante a secagem.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Secagem do café

· A secagem consiste basicamente na remoção de grande parte da água inicial que os produtos agrícolas apresentam após a maturação fisiológica. O teor final de água desejado corresponde ao valor máximo com o qual o produto pode ser armazenado por períodos pré-determinados, à temperatura ambiente, sem que ocorra deterioração ou alterações em suas características iniciais.

· O café recém-colhido, por ser um produto que apresenta certas peculiaridades, tais como alto teor de água, chegando a 60% b.u. e desuniformidade em relação à maturação, difere dos demais grãos cultivados em larga escala. Portanto, necessita de um método de secagem específico (Osório et al., 1983).

· Osório et al. (1983) afirmam que, de acordo com os aspectos tecnológicos envolvidos, são utilizados no Brasil basicamente dois métodos para secagem de café:

a) secagem em terreiros: neste sistema, o produto é espalhado sobre pisos que podem ser de cimento, de tijolo, de chão batido ou de asfalto. Este método é o mais utilizado, principalmente pelos pequenos e médio produtores.

b) secagem em secadores mecânicos: neste sistema, o ar aquecido é forçado através da massa de grãos e, devido ao seu elevado custo, não é acessível a todos cafeicultores.

· A secagem em terreiro é um método bastante tradicional, utilizado desde o início da cafeicultura. Apresenta problemas específicos, como a dependência dos fatores climáticos e a necessidade de mão-de-obra e de grandes áreas planas para a construção de terreiros. Já a secagem em secadores mecânicos é mais recente e possui problemas, como o fato da maioria dos secadores utilizados

serem adaptações de modelos projetados para outros grãos, resultando em uma baixa eficiência quando utilizados na secagem de café.

Os secadores utilizados no Brasil para a secagem de café são provenientes de modificações do secador contínuo de fluxo cruzado utilizado para cereais. Eles são construídos com câmaras de descanso para homogeneização da umidade e recirculação do café, tomando o processo intermitente. O custo operacional é elevado, por necessitar de energia para movimentar o café, aquecer e movimentar o ar (Vilela, 1997).

Os secadores disponíveis no mercado são de vários tipos. Dependendo do sentido de movimentação do ar em relação ao grão, destacam-se quatro classes principais (Brooker et al., 1992):

- a) secador de cama fixa, sem movimento do produto;
- b) secador de fluxos cruzados, em que o ar se movimenta numa direção perpendicular à dos grãos;
- c) secador de fluxos paralelos ou concorrentes, em que o ar e os grãos se movimentam no mesmo sentido;
- d) secador de fluxos contracorrentes, em que o ar e os grãos se movimentam em sentidos opostos.

O processo de secagem, quanto à movimentação do ar aquecido, pode ser classificado em dois tipos:

- a) secagem contínua - neste método, o ar passa através da massa granular durante todo o processo;
- b) secagem intermitente - neste método, há períodos de interrupção da passagem do ar de secagem através da massa granular. Durante estas interrupções, o grão pode ou não receber ventilação.

## 2.2 Secadores rotativos

Os secadores rotativos são caracterizados por apresentarem fluxo de ar sem intermitência, consistindo no movimento dos grãos dentro do secador, de forma concorrente, contracorrente e cruzada. (Kreyger, 1973; Lasseran, 1979 e Brooker et al, 1992).

De acordo com Vieira (1994), o secador rotativo realiza secagem contínua, por não apresentar câmara de descanso. É mais recomendado para a pré-secagem ou para cafés despulpados, sendo um dos secadores mais eficientes devido à movimentação do café e à distribuição mais uniforme do ar quente em contato com os frutos em todo o secador.

Os secadores rotativos possuem capacidade de carga entre 5.000 e 15.000 litros de café e são também conhecidos como pré-secadores, por poderem receber cafés ainda com alto teor de água.

Segundo Bártholo et al. (1989) e Chalfoun e Carvalho (1997), sempre se deve deixar um vão de 20 a 30 cm ao final do carregamento de café em secadores rotativos, para se possibilitar a movimentação dos frutos durante o processo de secagem.

Dadas às características construtivas e por serem de carga fixa, Cunha e Serôdio (1991) afirmam que a carga do cacau dos secadores rotativos nunca deve ser muito inferior à sua capacidade de carga, a fim de se evitar uma redução na eficiência de secagem.

Mendes et al. (1995), sem especificar o tipo de café em processamento, relatam a possibilidade de utilização dos secadores rotativos de três maneiras diferentes: como pré-secador, trabalhando inicialmente sem aquecimento do ar, durante 2 horas, para escoamento da água, seguindo-se um aquecimento do ar de secagem a, no máximo, 60 °C, para o murchamento e perda da umidade externa, em seguida enviando o produto para secadores verticais; no uso em pré-secagem até a secagem final, usando-se o procedimento anterior, elevando-se, em

seguida, a temperatura do ar de secagem a 90 °C, até o final do processo; ou, após ter sido pré-seco em terreiro, iniciando a secagem a uma temperatura de 90 °C, como na opção anterior.

Os fabricantes recomendam a utilização do secador rotativo para secagem completa, sem a utilização de pré-secagem. Porém, quanto à qualidade do café, não existem trabalhos, principalmente com relação à homogeneização da umidade e uniformização da cor dos grãos. (Vilela & Pereira, 1998). São escassos também trabalhos que indiquem variações da temperatura e umidade da massa no sentido longitudinal e radial para os secadores rotativos.

Oliveira et al (1984) avaliaram o desempenho de diversas formas de secagem, indicando a necessidade de revolvimento constante do produto, o que, mecanicamente, só pode ser realizado por secadores rotativos.

### **2.3 Temperaturas de secagem**

Na secagem em secador mecânico, deve-se estar atento à temperatura e ao tempo de secagem. As temperaturas mais elevadas tomam a operação mais rápida e, portanto, mais econômica (Giranda, 1998). Porém, apesar dos prejuízos decorrentes desta prática não serem totalmente conhecidos, diversos autores recomendam valores máximos para a temperatura de secagem com riscos de redução na qualidade caso esses valores sejam ultrapassados.

De acordo com Borém (1992), os principais parâmetros que estão associados à redução da qualidade das sementes no processo de secagem são temperatura, umidade relativa e vazão do ar de secagem, tempo de residência do produto na câmara de secagem, taxa de secagem e teores de água inicial e final do produto. Vários trabalhos têm sido realizados com o objetivo de verificar o efeito destes parâmetros sobre a qualidade final do café. Entretanto, a temperatura do ar de secagem e o fluxo de ar são parâmetros de fácil controle pelos operadores, além de serem fundamentais, juntamente com o teor de água

na determinação da taxa de secagem, que resulta da velocidade com que a água evapora, relacionada à velocidade de movimentação da água do seu interior para a superfície.

Para o café cereja, é relatado pelo IBC/GERCA (1985) que não se deve ultrapassar a 80 °C a temperatura da entrada do ar, sendo recomendável 65 a 70 °C, sob o ponto de vista de segurança e economia da operação. Considerando a qualidade de bebida, Tosello, citado por Lacerda Filho (1986), afirma que a temperatura do ar de secagem não deve ultrapassar 75 °C, uma vez que as temperaturas iguais ou superiores a esta podem ser prejudiciais ao produto.

De acordo com Silva et al. (2000), deve-se evitar que a temperatura do ar ou da massa de café ultrapassem 70 e 45 °C, respectivamente, por períodos superiores a duas horas.

Silva et al. (1998), estudaram a qualidade da bebida do café em função da proporção de frutos verdes (0%, 2%, 5%, 10% e 20%) e da temperatura do ar de secagem (35, 45 e 55 °C), obtiveram melhores resultados em termos de qualidade de bebida na secagem do café natural, com ar à temperatura de 45 °C nas proporções de zero e dois por cento de frutos verdes, obtendo bebida “apenas mole” para estes tratamentos.

Ruiz Aguas (1988), citado por Guida (1994), relata que, em secadores do tipo Guardiola, com o café em movimento, podem ser empregadas temperaturas do ar de até 80 °C, com acompanhamento para prevenção contra incêndio e danos nos grãos.

Alguns trabalhos foram realizados com o objetivo de verificar a possibilidade de usar temperaturas maiores, de forma a reduzir gastos com energia, sem comprometimento da qualidade da bebida.

Lacerda Filho (1986), trabalhando com secagem de café em secador de leito fixo e utilizando temperatura do ar de secagem de 55 °C, concluiu que não

houve comprometimento da bebida, sendo esta superior à do produto seco em terreiro com qualquer tipo de piso.

Silva (1991), com o objetivo de adaptar à realidade brasileira a tecnologia de secadores de fluxos contra correntes, propôs um modelo a ser utilizado na secagem de café. Nos trabalhos envolvendo esse secador, a redução do teor de água do café em coco de 30% b.u., para 12% b.u., utilizando temperaturas de secagem de 60, 80 e 100 °C, resultou num consumo específico de energia de 8.300, 7.547 e 6.442 kJ por kg de água evaporada, respectivamente. O autor constatou que, ao se aumentar a temperatura do ar de secagem de 60 °C para 100 °C, reduziu-se o tempo de secagem em 53% e o consumo específico de energia em 23% e a capacidade de secagem aumentou em 111%. O autor recomendou, portanto, utilizar a temperatura de 100 °C, em razão do menor período de tempo, do menor consumo de combustível e da não-constatação de efeitos prejudiciais na qualidade final do produto.

Cordeiro (1982), analisando o efeito da temperatura e do tempo de repouso sobre o perfil de umidade na secagem de café, em camada fixa, concluiu que os grãos submetidos ao processo de seca-aeração apresentam maior uniformidade no teor de água ao longo da camada. Conseqüentemente, apresentaram menor gradiente de umidade, comparada com a secagem convencional. A temperatura de secagem de 50 °C e o intervalo do tempo de repouso de 12 horas foi o tratamento que apresentou melhores resultados, com gradiente final de teor de água de 0,021 g H<sub>2</sub>O/100 g m.s., o que representa uma redução de aproximadamente 50%, comparada com a secagem convencional.

Segundo Cordeiro (1982), a temperatura máxima que o café pode suportar é 70 °C. Temperaturas mais elevadas são prejudiciais ao produto, uma vez que muitos grãos ficam super secos, enquanto outra parte não atinge o teor de água ideal, tornando a uniformização durante o processo de torrefação muito difícil.

Bental, citado por Tosselo (1957), recomenda a temperatura de 85°C e afirma que não se deve ultrapassar a 90 °C. No entanto este último autor afirma que a temperatura máxima que o café pode suportar é 70 °C. Para o autor, temperaturas mais elevadas, por exemplo, 85 °C, são prejudiciais ao produto, uma vez que muitos grãos ficam super secos, enquanto outra parte não atingiria o ponto de seca (nesse ponto a uniformização torna-se muito difícil).

Osório (1982) e Silva (1991), estudando a secagem de café cereja em secadores de fluxos concorrentes e contracorrentes, respectivamente, e utilizando temperaturas do ar de secagem superiores a 60 °C, constataram que os secadores são energeticamente mais eficientes quando se utilizam temperaturas mais altas (100° e 120 °C, respectivamente). Nenhuma temperatura utilizada prejudicou a qualidade final da bebida nestes tipos de secadores.

Barthollo et al. (1989), descreveram os cuidados na secagem do café cereja sem pré-secagem, e referiram-se à necessidade de manter a temperatura do ar quente abaixo de 60 °C até a condição de meia-seca (30% b.u.) na massa de café. Deve-se elevar a temperatura para 90 °C, mantendo a massa de café no limite de 45 °C até atingir 17% de umidade, baixando-se a temperatura do ar para 60 °C, até o final da seca.

Para o café cereja despulpado, verifica-se que este processo proporciona ao produto um melhor tipo e, que a utilização de maiores temperaturas do ar, acima de 60 °C, diminui o consumo específico de energia e o tempo de secagem (Castro, 1991; Guida, 1994), porém pode comprometer o aspecto do café (Guida, 1994).

Octaviani e Biagi (2000) investigaram a secagem do café cereja descascado e desmucilado em secadores horizontais rotativos com diferentes temperaturas (40, 50 e 60 °C) e fluxos de ar (85 e 103 m<sup>3</sup>min<sup>-1</sup>), utilizando GLP como combustível, e sua influência na qualidade sensorial do café. Os autores observaram que as secagens a temperaturas médias de 40,2 a 56,1 °C na massa

de grãos não causaram efeitos prejudiciais à qualidade sensorial do café cereja descascado e desmucilado, segundo os parâmetros de bebida, seca, cor e aspecto.

Ainda que muitos trabalhos tenham sido feitos em relação à secagem de café, percebem-se divergências entre os autores em relação ao tempo de secagem e, principalmente, à temperatura de secagem.

## **2.4 Fluxo de ar**

Além da temperatura, o fluxo de ar é um parâmetro da secagem que deve ser também considerado para melhor eficácia do processo.

Segundo Silva & Berbert (1999), nos secadores em que a secagem é realizada por meio de fluxo de ar, a característica do ventilador é de suma importância para o bom funcionamento do sistema. Ele deve ser projetado para vencer a resistência oferecida pelo produto, a uma determinada temperatura, à passagem de um determinado fluxo de ar.

Octaviani & Biagi (2000), investigaram a influência do fluxo de ar na secagem de café cereja descascado e desmucilado em secadores horizontais rotativos. Observaram que: a utilização do fluxo de ar modificado de 81,6 para 106,8  $\text{m}^3\text{min}^{-1}$  não comprometeu a qualidade sensorial, nos parâmetros bebida, seca, cor e aspecto; o aumento no fluxo do ar de secagem, considerando as mesmas condições ambientais, reduziu sensivelmente o tempo de secagem do café; ainda, que a utilização de maiores fluxos de ar, combinados com maiores temperaturas do ar de secagem, conduziu a menores consumos de GLP.

Guida (1994), em seu trabalho, analisou a influência do fluxo de ar na secagem de café despulpado em secador experimental de camada fixa. Ele utilizou temperatura 70 °C, altura da camada de café de 40 cm, revolvimento a cada duas horas de secagem, fluxos de ar de 16 e 63  $\text{m}^3\text{min}^{-1}\text{m}^{-2}$  e períodos de descanso de 0 horas (secagem contínua), 2 e 4 horas. Concluiu que o fluxo de ar

influenciou o tempo de secagem no secador, sendo que este tempo no menor fluxo de ar foi sempre maior que o dobro para o maior fluxo de ar, em todos os períodos de descanso, porém, prejudicando o aspecto do café.

Vieira & Vilela (1995), estudando a secagem intermitente de café natural em secador experimental de camada fixa, utilizaram condições de secagem semelhantes aos secadores comerciais. A temperatura do ar de secagem foi de  $70 \pm 2$  °C, fluxos de ar de 16, 33 e  $63 \text{ m}^3\text{min}^{-1}$ , altura da camada de 0,20 m, períodos de secagem de 30 e 60 minutos e períodos de repouso de 60 e 120 minutos. Analisando estes parâmetros, os autores concluíram que o fluxo de ar tem maior efeito em diminuir tanto o tempo total como o tempo de permanência no secador, independente do período de secagem, e que os efeitos do fluxo de ar foram maiores para menor período de repouso.

## **2.5 Avaliação do desempenho de secadores**

A implantação de um programa interno de conservação de energia constitui o primeiro passo para o combate ao desperdício e ao uso racional da energia dentro de uma unidade de armazenadora. Um programa bem elaborado permite otimizar o uso da energia, evitando ações isoladas e duplicação de esforços que tendem a perder o seu efeito no decorrer do tempo. É melhor utilizar os recursos econômicos, materiais e humanos para a minimização da relação consumo/serviços, contribuindo assim para a redução dos custos embutidos com energia nas taxas de serviço de armazenagem de produtos (Silva, 2000).

Em uma unidade armazenadora, a secagem pode representar até 50% do dispêndio de energia. As operações de secagem e armazenamento, quando conduzidas corretamente e com equipamentos eficientes, contribuem significativamente para a redução dos custos operacionais, pela economia de energia que propiciam.

Os procedimentos a serem adotados para a otimização do uso da energia em processos agrícolas, em especial a secagem de grãos, dependem do tipo de sistema de secagem e manejos adotados.

Os parâmetros que afetam a taxa de secagem e o desempenho de secadores são: a temperatura e a umidade relativa do ar ambiente, a temperatura e o fluxo de ar de secagem, as propriedades físicas do produto, os teores de umidade inicial e final do produto, o tipo e a fonte de energia a velocidade dos grãos no secador, os sistemas de carga e o tipo de ventilador (Silva et al., 1992; Dalpasquale et al., 1979).

A temperatura e a umidade relativa do ambiente não afetam diretamente a taxa de secagem em altas temperaturas, mas determinam a quantidade de energia necessária para atingir a temperatura de secagem.

A temperatura do ar de secagem influencia significativamente a taxa e a eficiência de secagem, bem como a qualidade final do produto. Um aumento na temperatura significa uma redução no consumo de energia por unidade de água evaporada (Osório, 1982).

A umidade inicial também influencia a taxa de secagem. Quanto maior for o teor de água do produto, maior será a quantidade de água evaporada por unidade de energia.

Bakker-Arkema et al. (1978) propuseram uma metodologia para avaliação do desempenho de secadores com base em um número reduzido de testes de campo, sob determinadas condições padronizadas, acompanhadas pela simulação do processo de secagem, com o objetivo de se reduzir o tempo e os custos com os testes experimentais. A avaliação da qualidade dos grãos secos complementa os testes de campo.

Pinto (1993) projetou e avaliou o desempenho de um secador intermitente de fluxos contracorrentes/concorrentes na secagem de café cerejea, utilizando temperaturas do ar de secagem de 80, 100 e 120 °C. Os valores de

consumo específico de energia para redução do teor de água de 30% b. u., para 12% b.u., foram de 6.068, 5.657 e 5.685 kJ por kg de água evaporada, respectivamente. Tendo em vista a pequena diferença entre os consumos específicos de energia, o autor recomenda a utilização da temperatura de 80°C.

Lacerda Filho (1986), realizou a avaliação dos seguintes sistemas de secagem de café: secagem em terreiros, secagem em secador de leito fixo, combinação entre secagem em terreiros e secagem em leito fixo, combinação entre a secagem em terreiro e secagem em fluxos concorrentes e combinação entre secagem em leito fixo e secagem em fluxos concorrentes. Concluiu o autor que técnica e operacionalmente, o melhor desempenho foi obtido no último sistema.

Teixeira et al., citado por Castro (1991), estudaram o desempenho de vários secadores mecânicos e concluíram que o café que sofreu pré-secagem em secador de leito fixo ou em terreiro apresentou, na maioria dos casos, uma melhor qualidade do produto.

Sobrinho et al. (2001), estudando a avaliação de sistemas de secagem de café com aquecimento do ar em vapor de água, lenha de eucalipto e gás liquefeito de petróleo concluiu que na secagem em que o ar foi aquecido com GLP, o consumo específico de energia foi menor e a secagem realizada em secador horizontal teve consumo específico menor, em comparação com aquela realizada com secador vertical.

Até recentemente, o consumo de energia e o rendimento de um secador eram parâmetros a que se dava maior ênfase na escolha do sistema. Dessa forma, muitos trabalhos foram feitos com os objetivos únicos de conservação e racionalização de energia (Cordeiro, 1982). Atualmente, além dessa preocupação, os efeitos dos secadores e métodos de secagem sobre a qualidade do produto têm sido assunto de importância entre pesquisadores, processadores e fabricantes de equipamentos.

## 2.6 Combustíveis

Industrialmente, a conversão da biomassa em energia dá-se em fomalhas e queimadores. Dependendo da conveniência quanto a utilização, o calor gerado pela combustão pode ser transferido a um fluido e até mesmo para um material sólido. O processo de combustão consiste essencialmente na reação química entre o hidrogênio e o oxigênio proveniente, em geral, do ar atmosférico. Uma combustão eficiente é aquela em que todos os elementos combustíveis, resultantes do processo de queima, são transformados totalmente em dióxido de carbono, água e calor. A combustão ou queima direta pode ser definida como o processo de oxidação, de um combustível sob uma combinação de fatores. Para que ocorra a reação de oxidação os seguintes fatores devem estar disponíveis simultaneamente:

- combustível (lenha, gás natural, óleo combustível, etc);
- comburente (oxigênio);
- temperatura de ignição.

### 2.6.1 A lenha como combustível

A madeira, segundo Russomano (1987), sendo atualmente o principal combustível na geração de calor para a agricultura brasileira, especialmente na forma de lenha, participa com aproximadamente 98%; e os 2%; restantes se distribuem igualmente entre o carvão vegetal e o gás liquefeito de petróleo (GLP).

Na literatura são encontradas citações de diferentes valores para o poder calorífico da madeira, situando-o na faixa de 8.300 a 21.000 kJ.kg<sup>-1</sup>. O seu valor varia menos com a espécie e mais com o teor de água nela presente (Melo, 1987).

Segundo Silva (1986), o aumento do consumo de madeira gera o fenômeno da escassez relativa, ou seja, depósitos próximos e economicamente viáveis, em função dos custos de exploração e transporte.

Em função da crescente demanda de lenha no estado de Minas Gerais, pelas diversas categorias de consumidores, as reservas de florestas naturais e de cerrado estão se tomando cada vez mais escassas e distantes dos centros de consumo. Os custos de transporte constituem um dos principais fatores de encarecimento do produto, o que deverá forçar os consumidores buscar substitutivos, com a mesma ou melhor eficiência.

A disponibilidade de matas nativas na região de Minas Gerais foi analisada em estudo encomendado pelo IBDF, em 1974. Confirmaram-se as previsões de, que já em 1985, as matas existentes não seriam suficientes para as necessidades daquele ano.

Para uma idéia da magnitude do consumo de matas nativas em Minas Gerais, registra-se que, se o estoque acumulado durante 15 anos pelo plantio de eucaliptos fosse utilizado para suprir o consumo atual de florestas nativas, em menos de dois anos aqueles estoques estariam liquidados (Brasil, 1984). Nesse contexto, o uso da lenha como fonte energética na agricultura se torna cada vez mais limitante necessitando, portanto, de estudos de novas fontes de energia para o aquecimento do ar para a secagem de produtos agrícolas.

### **2.6.2 O GLP como combustível**

O gás liquefeito de petróleo (GLP) é o principal gás combustível no Brasil, sendo mais difundido seu uso para cocção de alimentos.

A boa rede de distribuição do produto, seu baixo preço por caloria e a sua disponibilidade determinaram a sua aceitação em alta escala. Hoje, a produção nacional não atende ao consumo, que continua em expansão, obrigando a exportação do GLP.

É grande o significado sócio-econômico do GLP, dada a facilidade e rapidez com que atinge as regiões do interior, precedendo a energia elétrica e as redes de água e esgoto.

Além disso, o seu consumo diminui o desmatamento, hoje um sério problema nacional. Para que se tenha idéia da importância do GLP na manutenção do parque florestal brasileiro, basta dizer que o consumo de uma tonelada de GLP evita que 50 árvores sejam derrubadas (Brasil, 1984).

A densidade relativa do propano é de 1,522 e do butano, de 2,006, ou seja, para uma temperatura de 15,5 °C, 1 litro de propano pesa 528,4 g o que torna, segundo Egga (s.d.), necessária uma corrente de ar para que o GLP se dissipe na atmosfera.

Os hidrocarbonetos predominantes no GLP são gasosos à pressão atmosférica, mas liqüefazem-se ao lhe aplicar pressões relativamente baixas (em torno de 15 kgf.cm<sup>-2</sup>) o que propicia a redução a pequenos volumes, facilitando as operações de transporte e utilização. No estado líquido, a massa específica de GLP é de 550 kg.m<sup>-3</sup> e seu poder calorífico de 11.730 Kcal.kg<sup>-1</sup>; no estado gasoso sua massa específica cai para 2,29 kg.m<sup>-3</sup> podendo seu poder calorífico ser expresso em 26.860 kcal.m<sup>-3</sup> (Russomano, 1987).

Dependendo da origem e dos processos de tratamento a que foi submetido, o GLP pode apresentar variações na sua composição (Tabela 1). Os hidrocarbonetos que aparecem em maiores proporções são o propano e o propeno, e o butano e o buteno. Pequenas quantidades de etano e pentano também podem ocorrer.

TABELA 1 Composição e ponto de ebulição dos diversos tipos de GLP

TIPOS DE GLP	COMPOSIÇÃO	PONTO DE EBULIÇÃO (°C)
Propano comercial	Predominantemente propano e/ou propeno	- 38
Propano especial	No mínimo 90% de propano e no máximo 5% de propeno	- 38
Butano comercial	Predominantemente butano e/ou buteno	2
Propano-Butano	Propano e/ou propeno com butano e/ou buteno	2

Fonte: (Russomano, 1987).

Entre as principais impurezas encontradas no GLP, os compostos sulfurados são dos mais indesejáveis, por incorporarem corrosividade ao produto. Por esta razão, quando necessário, submete-se o produto a tratamentos especiais.

Clifford (1962) relata que na América do Norte, o GLP tem aplicações agrícolas desde a década de 1940, em aquecimento de aviários, desidratação, secagem de tabaco, alfafa e grãos, propulsão de motores de tratores e bombeamento para irrigação.

Para o GLP à temperatura de 15,5 °C e 1 atm., a temperatura da chama é de 1980°C; sendo necessários 24 m<sup>3</sup> de ar para queimar 1 m<sup>3</sup> de propano e 31 m<sup>3</sup> de ar para queimar 1 m<sup>3</sup> de butano.

Em virtude das facilidades proporcionadas pela possibilidade de armazenagem e transporte na fase líquida, aliadas à vantagem de ser utilizado sob a forma de gás, cabe um estudo para verificar a viabilidade econômica e a influência deste combustível na qualidade final do café, quando utilizado como fonte energética na secagem.

## 2.7 Qualidade do café

• A qualidade está associada principalmente à satisfação dos consumidores na observação da combinação balanceada de sabores e aromas, que se tornam perceptíveis apenas com a torração dos grãos. Esta reação é dependente das substâncias químicas existentes no grão cru, que são utilizadas na formação dos compostos responsáveis por esses atributos (Lopes, 2000).

• Em linhas gerais, segundo Vilela & Pereira (1998), o café beneficiado brasileiro tem sua qualidade determinada por três classificações principais: classificação por tipo, separando-se os defeitos e impurezas; pela prova de bebida, feita por provadores treinados; por peneira, separando-se uma amostra de grãos por tamanho e formato. Em alguns casos, utiliza-se de uma classificação subjetiva com relação ao aspecto, em que, visualmente, verifica-se a aparência considerando-se o tamanho dos grãos, quantidade de defeitos e impurezas, manchas e descolorações.

O sabor e aroma determinam a qualidade do café e são formados a partir de alterações químicas que ocorrem durante todo seu processamento.

• Amorim & Texeira (1975) observaram que as transformações bioquímicas indesejáveis que ocorrem no grão durante a pós-colheita, e que levam a formação de uma bebida inferior, são, principalmente, de natureza enzimática. Algumas dessas transformações bioquímicas degradam as paredes da membrana celular, que possuem lipídeos e proteínas e são estabilizadas por ions, principalmente cátions.

- Transformações indesejáveis nas membranas e nas paredes celulares podem ocorrer, devido a fatores externos como temperaturas extremas, altas ou baixas, variações na umidade do ar e injúrias de secagem, ocasionando uma maior desorganização e maior permeabilidade das membranas de sementes de cafeeiro (Amorim et al., 1977).

Alguns trabalhos ressaltam a influência da secagem e seus parâmetros na qualidade do café.

Teixeira et al. (1980), ao estudarem características de vários secadores verticais, observaram que a má condução da seca resulta em manchas e ocorre em função da rápida passagem do café na câmara de secagem, ou pelo tempo insuficiente de descanso a que eram submetidos.

• De acordo com Oliveira (1995), as manchas no grão de café beneficiado podem aumentar em função de altas temperaturas de secagem, umidade final do produto elevada e grande tempo de armazenamento.

• Luzin et al. (1989) estudaram o efeito da secagem em estufa no escurecimento de grãos beneficiados originado de frutos colhidos verdes. Esses autores verificaram que a temperatura acima de 30 °C na massa de grãos acelera o aparecimento de grãos escuros (pretos verdes).

• Prete et al. (1995), utilizando também frutos verdes de café verificaram a formação de grãos verde-escuro, pretos e pretos-verdes, com a elevação da temperatura, chegando a 96,9% de pretos verdes a temperaturas de 60 °C. A secagem do café foi realizada em estufa.

Herter e Burris (1989 a) relatam que a secagem pode provocar danos por calor às membranas, que são caracterizados quando ocorre a ruptura em ligações peptídicas de proteínas e em outros componentes celulares. Estes danos provocados pela secagem devem-se a altas temperaturas e taxas de secagem.

• Herter e Burris b (1989 b), estudando o efeito da taxa de secagem e da temperatura na injúria de sementes de milho, observaram que tanto altas taxas de secagem como altas temperaturas são importantes fatores causadores de injúrias nas sementes. Estes fatores também estão relacionados com a aquisição de tolerância à dessecação pelas sementes de cafeeiro Ellis et al. (1991), citados por Brandão Júnior (2000).

Os resultados obtidos por Pammenter et al. (1998) confirmam que a taxa de secagem influencia a sensibilidade à dessecação de sementes inteiras. Observaram que, provavelmente, em função da distribuição desigual de água nos tecidos, a secagem lenta proporciona uma desidratação homogênea e que a secagem rápida proporciona uma secagem desigual através dos tecidos.

Sobrinho et al. (2001), estudando sistemas de secagem com aquecimento do ar em vapor de água, lenha de eucalipto e GLP, concluíram que a bebida e o tipo do café não são influenciados pelo tipo de combustível usado para o aquecimento do ar de secagem.

- Algumas análises químicas têm sido realizadas por vários autores, com o objetivo de correlacioná-las com a bebida e a qualidade do café, a saber, acidez titulável, lixiviação de potássio e condutividade elétrica.

- Os testes de lixiviação de potássio e condutividade elétrica têm se apresentado como indicador consistente da integridade de membranas celulares. As amostras com membranas mais deterioradas apresentam maiores valores de lixiviação de potássio e condutividade elétrica (Amorim, 1978; Prete, 1992).

- Prete et al. (1995) verificaram o efeito da temperatura de secagem nos teores de lixiviação de potássio, em estufas ventiladas, utilizando frutos cerejas e verdes, na lixiviação de potássio dos grãos beneficiados (Tabela 2).

- Observa-se que, à medida que a temperatura aumenta, elevam-se os teores de lixiviação nos grãos, refletindo o estado de organização das membranas.

- Pinto et al. (2000) encontraram maiores índices de lixiviação de potássio nas bebidas de pior qualidade (dura, riada e rio), indicando uma menor integridade destas membranas. Assim, cafês que sofreram algum tipo de alteração tiveram suas membranas afetadas. Observaram também que existe uma relação positiva da condutividade elétrica com a lixiviação de potássio.

**TABELA 2** Valores de lixiviação de potássio de grãos beneficiados provenientes de frutos colhidos nos estágios de maturação cereja e verde submetidos a diferentes temperaturas de secagem.

Temperatura de secagem °C	Lixiviação de Potássio ppm	
	Cereja	Verde
20	14,67	21,11
30	18,30	42,49
45	26,44	65,28
60	36,73	113,29

Fonte: Prete et al. (1995).

• Pereira (1997), estudando a inclusão de três tipos de defeitos em café de bebida estritamente mole, observou um acréscimo nos valores de lixiviação de potássio e condutividade elétrica com a inclusão de grãos defeituosos.

• Coelho (2000), estudando a inclusão de grãos defeituosos em café de bebida estritamente mole, também constatou um aumento significativo nos teores de potássio lixiviado com a inclusão de grãos defeituosos.

• Segundo Lopez et al. (2000), o principal íon lixiviado, que influencia na medida da condutividade elétrica, tem sido reportado com sendo o potássio, presente na membrana do grão de café. Dessa maneira, quanto maior a injúria no grão, uma maior quantidade de íon de potássio é translocada para o meio líquido, contribuindo assim para maiores valores de condutividade elétrica

• A acidez da bebida de café destaca-se como um dos principais aspectos analisados sensorialmente para avaliação da qualidade do café (Vilela & Pereira, 1998).

• A intensidade da acidez da bebida varia predominantemente em função das condições climáticas durante a colheita e secagem, do local de origem, tipo de processamento e estágio de maturação dos frutos (Chagas, 1994; Leite, 1991; Giranda, 1998 e Pimenta, 1995).

• Carvalho et al. (1994), visando correlacionar a acidez titulável total dos grãos com qualidade da bebida, observaram um crescente aumento da acidez com a diminuição da qualidade do café.

• Barrios (2001), estudando a caracterização de cafés na região do Alto Rio Grande, encontrou valores de acidez titulável total de 215 a 237 ml de NaOH e valores de condutividade elétrica na faixa de 150,25 a 160,33  $\mu\text{Scm}^{-1}\text{g}^{-1}$

## 2.8 Custo de secagem

Mesmo sendo uma prática antiga dos pesquisadores, a estimativa dos custos de secagem não constitui, no Brasil, uma rotina das unidades de beneficiamento ou secagem de grãos ou sementes.

Young & Dickens (1975) afirmaram que poucos esforços foram despendidos no sentido de otimizar os processos de secagem, com vistas à conservação de energia ou de capital. Em estudo de avaliação de custos de secagem, em lotes e em fluxos cruzados, os mesmos autores estabeleceram os vários parâmetros a serem considerados nesta análise e verificaram que o tempo de secagem é um deles, podendo ser estimado por modelos matemáticos já desenvolvidos.

O custo total de secagem é composto dos seguintes itens:

a) Custo fixo: definido como sendo todos aqueles que não variam com a quantidade de café secado. Portanto, sua renovação acontece em longo prazo.

Dento dessa categoria de custos podem-se citar, as depreciações que são definidas com um custo fixo necessário para substituir os bens quando tornados inúteis pelo desgaste físico ou obsolescência. Representa a reserva que o produtor

faz durante a vida útil provável dos bens para a sua posterior substituição. No caso da secagem pode-se identificar a depreciação de todos os equipamentos envolvidos no sistema de secagem, como: secador, fomalha, queimadores, motores e ventiladores.

b) Custos variáveis: definidos como sendo aqueles que variam de acordo com a quantidade produzida, e cuja duração é igual ou menor que um ciclo produtivo. Entre esses custos, podem ser citados:

- a mão de obra;
- os combustíveis (lenha ou GLP);
- a energia elétrica.

c) Custo total de secagem: o custo total de secagem é o parâmetro que melhor avalia o sistema de secagem e composto de custo variável e do custo fixo.

d) Custo unitário: o custo unitário é obtido, dividindo-se o custo total de secagem pela quantidade de café seco no secador.

O custo da energia utilizada na secagem depende da temperatura de secagem, do fluxo de ar, do tempo de secagem e do preço do combustível. Como o café é um dos produtos agrícolas que requerem grande tempo de secagem, devido ao seu elevado teor de água, isto significa que o consumo de energia por unidade de produto seco é bastante elevado.

Verifica-se a existência de alguns trabalhos que compararam o custo de combustível em secagens utilizando lenha e GLP. No entanto, trabalhos comparando o custo total da secagem mecânica, utilizando lenha e GLP, não foram encontrados.

Garcia et al. (1998) estudaram o custo de combustível entre as secagens que usaram lenha e GLP, e o desempenho de queimadores da marca Ecoflam e Rayburners. Concluíram que o queimador Ecoflam possui uma secagem ligeiramente mais rápida e que o custo de combustível para a secagem a lenha

foi semelhante ao custo para a secagem com GLP, ressalta-se que o consumo de lenha foi estimado.

Octaviani (2000), secando café cereja descascado e desmucilado com gás liquefeito de petróleo, com vazão do ar de  $81,6 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$  e  $106,8 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ , verificou que, ao aumentar a vazão e o fluxo de ar, conseguiu-se diminuir o consumo de GLP. No experimento, o preço do GLP foi de R\$0,73 o quilo e a lenha R\$ 25,00 o metro cúbico. O consumo da lenha foi estimado pela simulação em estudo realizado por Garcia (1998). Octaviani concluiu que a operação realizada com GLP foi menos onerosa que a realizada com lenha de eucalipto.

Sobrinho et al. (2000), analisando sistemas de aquecimento do ar pela queima do gás liquefeito de petróleo, lenha de eucalipto e palha de café, verificaram que a operação realizada com GLP apresentou um maior custo de produção.

Sobrinho et al. (2001), realizaram um estudo visando à determinação do custo da secagem de café usando lenha em secador rotativo e GLP em secador vertical. Esses autores verificaram um custo total de R\$20,43 na secagem com GLP e R\$ 8,46 na secagem com lenha. Considerando apenas o custo de combustível, o custo foi de R\$ 6,40 para a secagem com GLP e R\$ 1,57 para a secagem que fez uso de lenha. Os preços da lenha e do GLP usados neste experimento foram de R\$ 15,00 por metro cúbico de lenha e R\$ 0,96 por quilo de GLP.

Reinato et al. (2001), avaliando o custo de combustível de diversas propriedades no Sul de Minas, verificaram em média, um custo por kg de água removida, quatro vezes maior para as secagens a lenha quando comparadas com as secagens em que se fez uso do GLP.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado no Pólo de Tecnologia em Pós-Colheita de Café, no Departamento de Ciência dos Alimentos e no Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras, MG.

#### 3.1 Matéria-prima

Para obtenção da matéria-prima utilizada neste trabalho, foram realizadas quatro colheitas de 30.000 litros de café no setor de cafeicultura do Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras.

O café com teor inicial de água em torno de 55% b.u. foi derrichado manualmente sobre o pano, e em seguida, abanado, lavado e separado em função do seu estágio de maturação. Após a separação, a porção formada pelos frutos cereja e verde foi submetida à pré-secagem em terreiro.

Para realizar a pré-secagem, o café foi esparramado em terreiro de concreto, em camada de aproximadamente 10 cm, sendo revolvido a cada 30 minutos. O período de pré-secagem durou cerca de seis dias. A partir do 5º dia de secagem, o café foi amontoado para facilitar os processos de homogeneização de umidade e carregamento do secador.

Amostras foram retiradas periodicamente para se determinar o teor de água, a determinação da umidade foi realizada pelo método padrão da estufa. O café permaneceu no terreiro até apresentar umidade em torno de 30% b.u.

O café foi, então, recolhido e acondicionado em sacos com capacidade de 60 kg, transportado e pesado em balança com capacidade de 200 kg. Em cada saco, foram colocados 60 litros de café em coco.

Após a pesagem, o café foi depositado na moega de recepção e

transportado por um elevador de canecas para o carregamento dos secadores.

Desta maneira, o café usado em cada teste experimental apresentava as mesmas condições iniciais.

### 3.2 Testes experimentais

Foram realizados quatro testes usando, concomitantemente, dois secadores rotativos da marca Pinhalense, com capacidade de 5.000 litros, com espessura de camada de café de 0,6 m e área de secagem de 4 m<sup>2</sup>. Cada secador foi equipado com uma fomalha de fogo indireto e um queimador da marca Ecoflam, modelo BLU-170. Uma adaptação em forma de Y foi usada para se fazer o acoplamento da fomalha e do queimador em um mesmo conjunto ventilador-secador. Esta adaptação apresentava um registro para possibilitar o uso independente da fomalha ou do queimador. O esquema dos secadores é apresentado na Figura 1.

#### 3.2.1 Teste 1

Neste teste comparou-se técnica, econômica e qualitativamente a secagem do café, utilizando-se lenha e GLP como combustíveis. O teste foi realizado de acordo com as recomendações técnicas adotadas pelos produtores, relativas ao controle de temperatura. Neste teste, a temperatura da massa foi controlada tomando-se como referência o termômetro bimetálico existente na seção central dos cilindros de secagem, evitando-se que a temperatura indicada neste termômetro ultrapassasse o valor de 45 °C. No secador 1 (Figura 1), o ar foi aquecido pela queima de GLP com o queimador operando com chama contínua e temperatura inicial do ar de secagem de 90 °C. No secador 2 (Figura 1), utilizou-se lenha como combustível e fomalha de fogo indireto para aquecimento do ar de secagem, a uma temperatura inicial do ar de 90 °C.

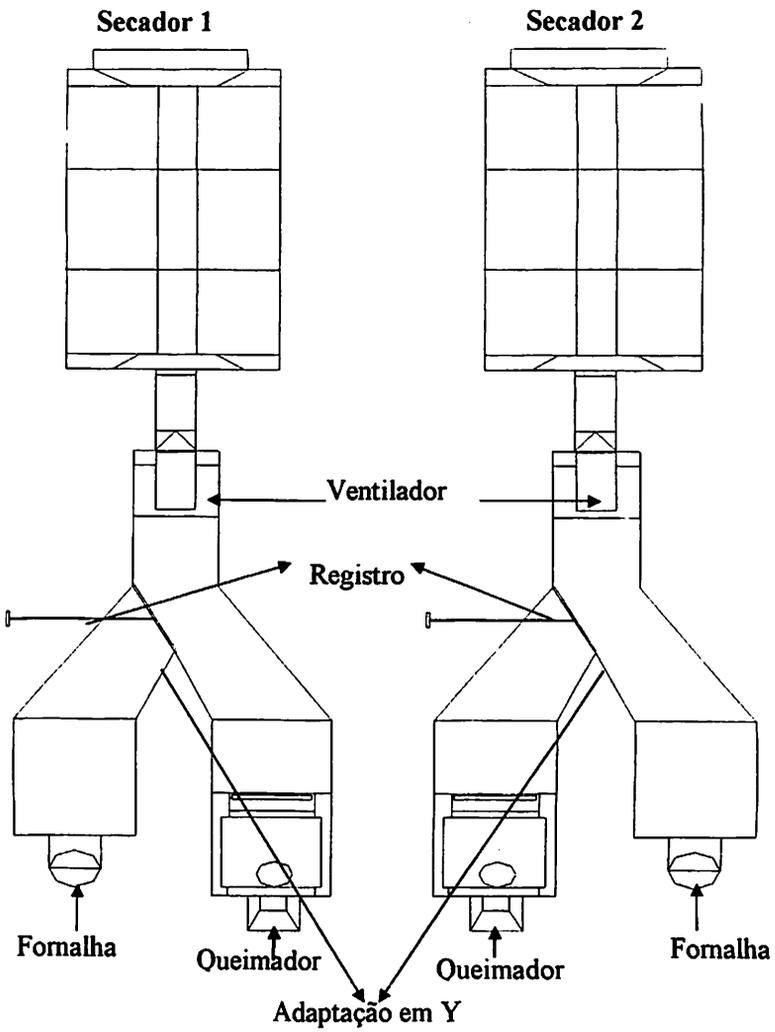


FIGURA 1 Vista superior do sistema de secagem

### **3.2.2 Teste 2**

Este teste foi similar ao teste 1, sendo invertidas, no entanto, as fontes de aquecimento do ar, ou seja, no secador 1 utilizou-se lenha como combustível e no secador 2 utilizou-se GLP, com o queimador operando com chama contínua.

### **3.2.3 Teste 3**

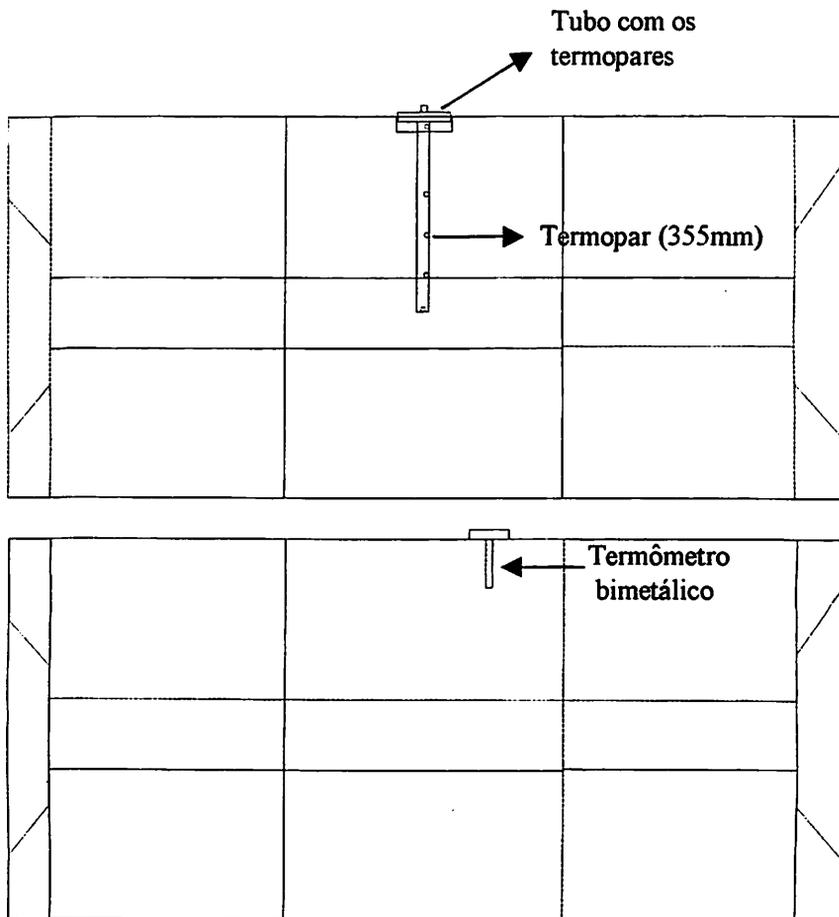
No terceiro teste foram comparados dois locais de controle da temperatura. A temperatura da massa no secador 1 foi controlada tomando-se como referência o termômetro bimetálico localizado no cilindro do secador. Já no secador 2, a temperatura utilizada como referência para manter a massa de café em 45 °C, foi obtida por um termopar posicionado no centro da massa, a 355 mm da chapa perfurada do cilindro do secador (Figura 2).

O combustível utilizado nos dois secadores foi o GLP, e os queimadores operaram com chama contínua.

### **3.2.4 Teste 4**

No quarto teste, foram comparadas duas maneiras de se utilizar o queimador de gás. A temperatura da massa de grãos em ambos os secadores foi controlada usando-se como referência o termômetro bimetálico, situado no cilindro do secador, evitando-se que a temperatura ultrapassasse 45 °C.

O combustível utilizado foi o GLP. No secador 1 utilizou-se o queimador operando com chama contínua e no secador 2 utilizou-se o queimador operando com chama intermitente.



**FIGURA 2** Representação esquemática do posicionamento do termômetro bimetálico e do termopar usados no terceiro teste.

### 3.3 Determinação da temperatura e umidade do ar ambiente

As temperaturas de bulbo seco e bulbo molhado do ar do ambiente de secagem foram determinadas por meio de um psicrômetro aspirado, com leituras feitas em intervalos regulares de 30 minutos.

### 3.4 Temperatura do ar de secagem

As temperaturas do ar de secagem foram obtidas em intervalos regulares de 30 minutos por meio de um potenciômetro digital, com precisão de  $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ , que recebia impulsos elétricos de dois termopares, localizados no duto de ventilação da saída dos ventiladores. O termopar situado a 30 cm do ventilador foi envolvido com uma gaze, e 5 minutos antes de se realizar a leitura, a gaze era molhada, obtendo assim a temperatura do bulbo molhado. A temperatura de bulbo seco foi obtida pelo outro termopar (Figura 3).

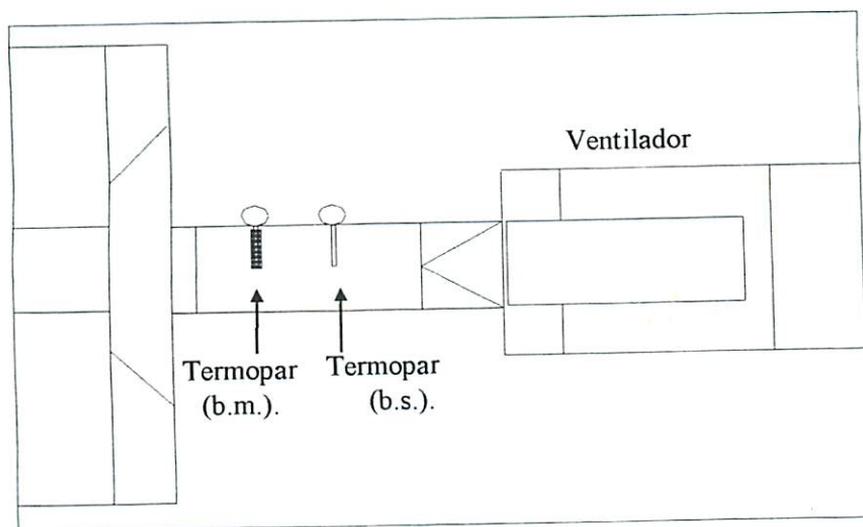
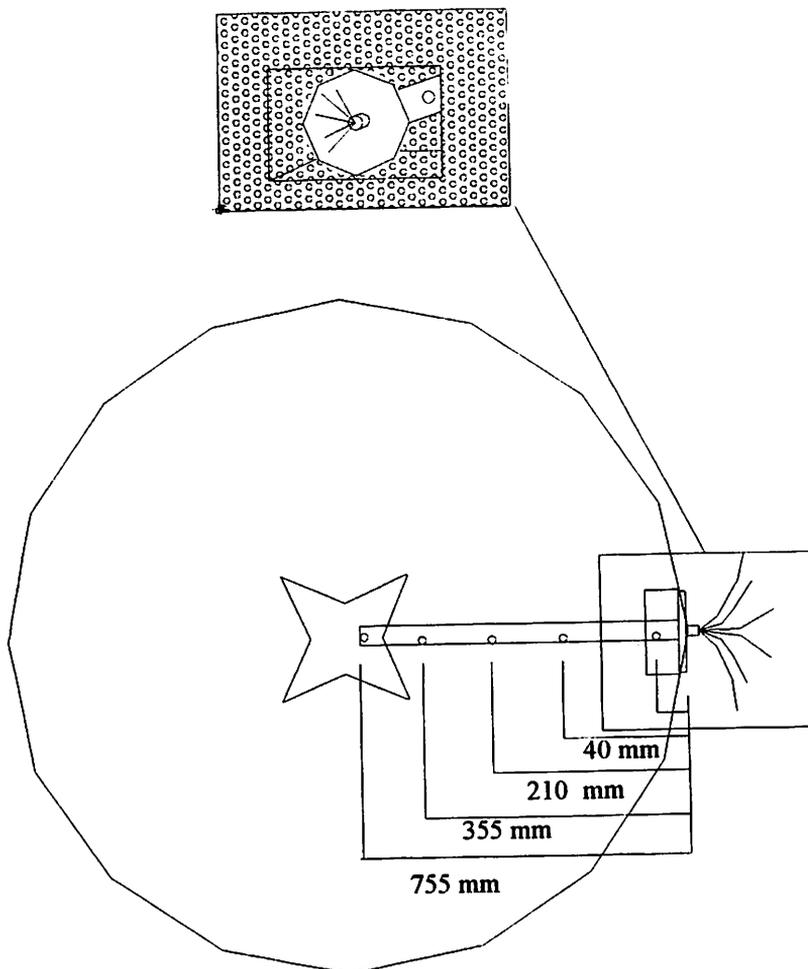


FIGURA 3 Croqui mostrando a localização dos termopares após o ventilador

### **3.4.1 Temperatura do ar no plenum, da massa de café e do ar de exaustão.**

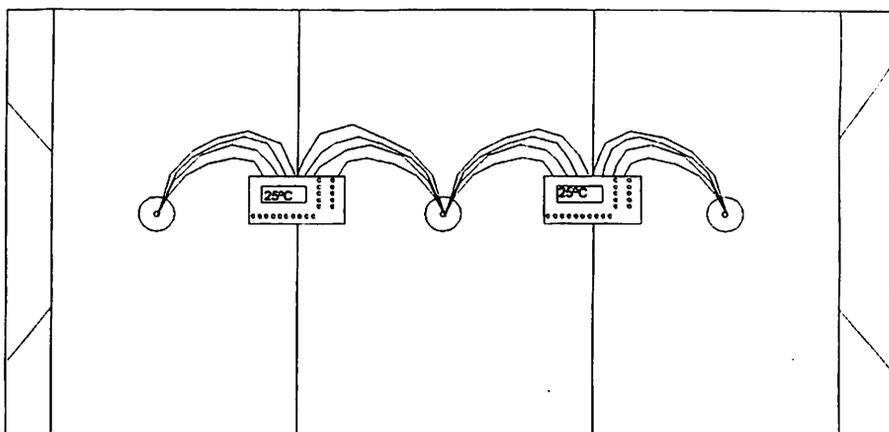
As temperaturas do ar no plenum, da massa do café e do ar de exaustão foram obtidas por meio de termopares tipo T situados a 40mm; 210mm; 355mm; 500mm e 775mm da chapa perfurada do secador (Figura 4). Os termopares foram fixados dentro de um cano de aço colocado radialmente em três seções dos secadores.

O termopar localizado a 775mm coincidia com o centro do plenum, representando assim a temperatura do ar no plenum. Os termopares localizados a 500 mm, 355 mm e 210 mm referiam-se a três diferentes pontos de temperaturas na profundidade da massa de grãos. O termopar localizado a 40 mm referia-se à temperatura do ar de exaustão. Este termopar foi protegido por uma caixa confeccionada com o mesmo material da chapa perfurada do secador com a finalidade de evitar seu contato com o café e com o ar ambiente e, assim, garantir real leitura do ar de exaustão (Figura 4).



**FIGURA 4** Corte radial do cilindro do secador e detalhe da caixa responsável pela proteção do termopar do ar de exaustão.

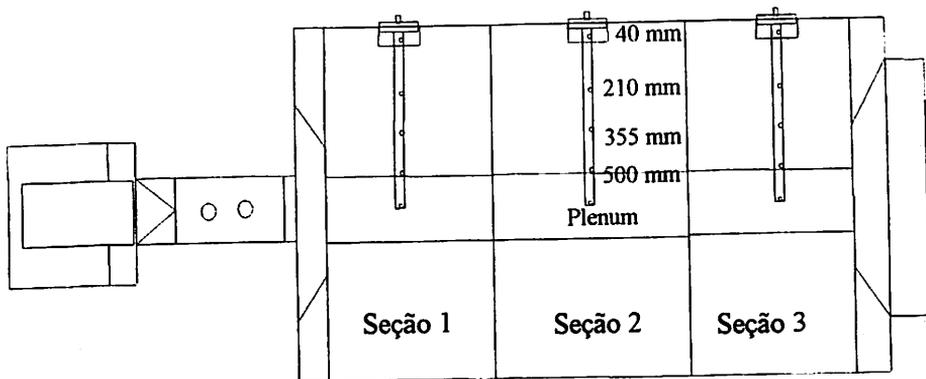
Os cabos dos termopares foram passados por dentro do cano e conectados a indicadores de temperaturas fixados na parede externa do secador (Figura 5).



**FIGURA 5** Vista frontal do secador evidenciando os indicadores e as conexões dos cabos dos termopares

Os indicadores de temperatura, dois por secador, encontravam-se fixados por meio de um suporte confeccionado de cantoneira. Cada indicador possuía entrada para 10 termopares e a alimentação foi feita por bateria recarregável de 12 volts, com autonomia de 24 horas, tempo suficiente para se realizar as secagens.

O secador foi dividido em três seções, numeradas a partir da entrada de ar e cada seção numerada radialmente a partir do plenum (Figura 6).



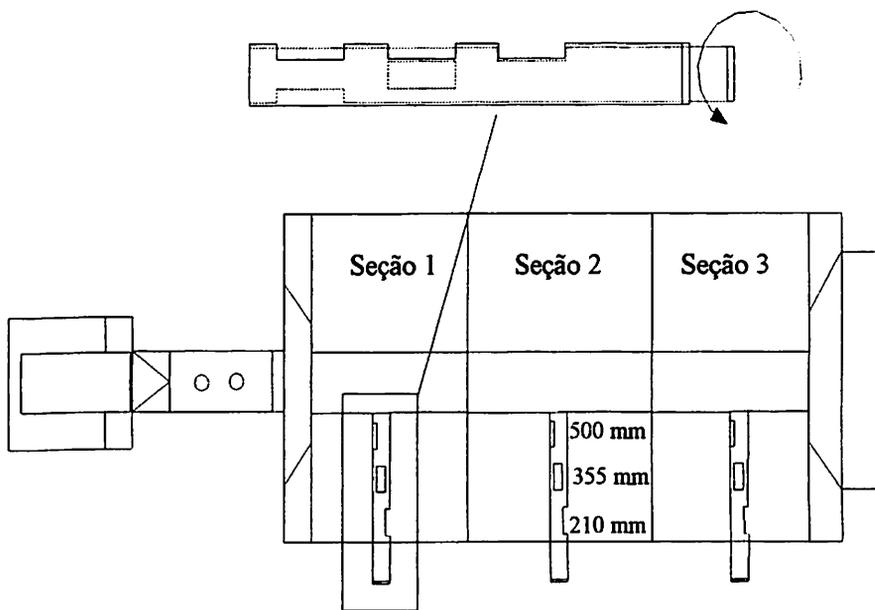
**FIGURA 6** Corte transversal do secador indicando a disposição dos termopares no sentido radial do secador em cada uma das três seções.

As leituras de todas as temperaturas registradas no indicador foram feitas de meia em meia hora e anotadas em planilhas. As temperaturas foram expressas em °C.

### 3.5 Umidade do café

As determinações de umidade do café foram realizadas pelo método padrão de estufa a  $105 \pm 3$  °C, usando-se duas amostras de aproximadamente 60 gramas (Brasil, 1992). Os resultados foram expressos em % b.u.

Foram realizadas amostragens em diferentes posições dentro da massa. (Figura 7). As amostras foram obtidas usando-se um calador composto projetado para se retirar três amostras radialmente equidistantes (Figura 7).



**FIGURA 7** Distribuição e detalhes dos caladores com as respectivas numerações no secador e detalhe do calador.

As amostras para determinação da umidade foram retiradas antes da secagem, durante a secagem em intervalos de duas horas e ao final da secagem,.

Para determinação do final da secagem, a umidade do café, foi determinada pelo método de capacitância usando-se o aparelho modelo G 400 e espessa em % b.u.

### 3.6 Caracterização técnica e energética do sistema de secagem.

#### 3.6.1 Volume do produto antes e após secagem

Antes da secagem, o café foi amontoado no terreiro e acondicionado em sacos, sendo colocados, em cada saco, 60 litros de café medidos em recipientes com capacidade de 20 litros. O número total de sacos foi anotado e o volume total do café em cada secador calculado antes da secagem.

Após a secagem, o café foi acondicionado novamente em sacos, sendo colocados quatro recipientes de 20 litros em cada saco devidamente identificados, costurados, contados e anotados em planilha específica.

#### 3.6.2 Massa do produto antes e após secagem

A massa do produto antes e após a secagem foi determinada por meio da pesagem dos sacos de café antes do carregamento e após a descarga do secador em balança com capacidade para 200 kg. O peso de cada saco foi anotado em planilha, e no final da pesagem, fez-se a totalização da pesagem.

#### 3.6.3 Massa específica aparente inicial e final

A massa específica inicial e final foram obtidas pelas equações 1 e 2, respectivamente:

Equação 1

$$M_{\text{esp. ini}} = M_u / V_u$$

em que:

$$M_{\text{esp. ini}} = \text{Massa específica inicial (kg m}^{-3}\text{)};$$

$$M_u = \text{Massa do produto úmido (kg)};$$

$$V_u = \text{Volume do produto úmido (m}^3\text{)};$$

Equação 2

$$M_{\text{esp. final}} = M_s / V_s$$

em que:

$M_{\text{esp. final}}$  = Massa específica final ( $\text{kg m}^{-3}$ );

$M_s$  = Massa do produto seco (kg);

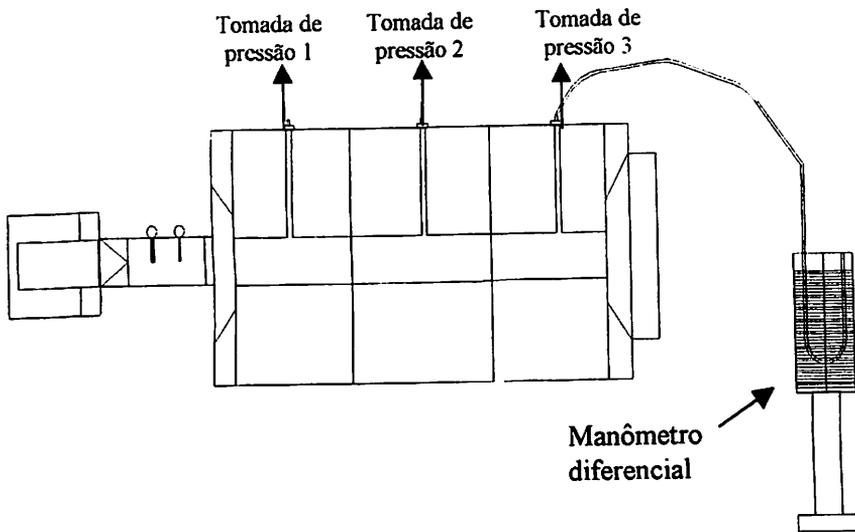
$V_s$  = Volume do produto seco ( $\text{m}^3$ );

#### **3.6.4 Pressão estática no plenum**

A pressão estática no plenum foi determinada em três pontos distribuídos longitudinalmente no secador (Figura 8). Três canos de 1/2" foram fixados radialmente entre a chapa perfurada e o plenum.

Na intercessão da chapa perfurada com o cano, colocou-se uma flange adaptada a um nipe, no qual foi conectado uma mangueira cristal ligada a um manômetro diferencial em U.

As leituras de pressão foram feitas a cada uma hora e os valores expressos em mm.c.a.



**FIGURA 8** Distribuição dos pontos de tomada de pressão estática

### 3.6.5 Velocidade e fluxo de ar

Para determinar a velocidade do ar no duto de entrada do secador inicialmente mediu-se a pressão de velocidade da seção transversal do duto de ventilação localizada a 50 cm da saída do ventilador (Figura 9). Essa foi a posição mais distante possível do ventilador e foi escolhida para se evitar possíveis oscilações na leitura do manômetro, devido à turbulência produzida pelo ventilador.

As medições foram feitas usando-se um tubo de pitot posicionado perpendicularmente à direção do ar de secagem em três pontos no duto de ventilação (Figura 9).

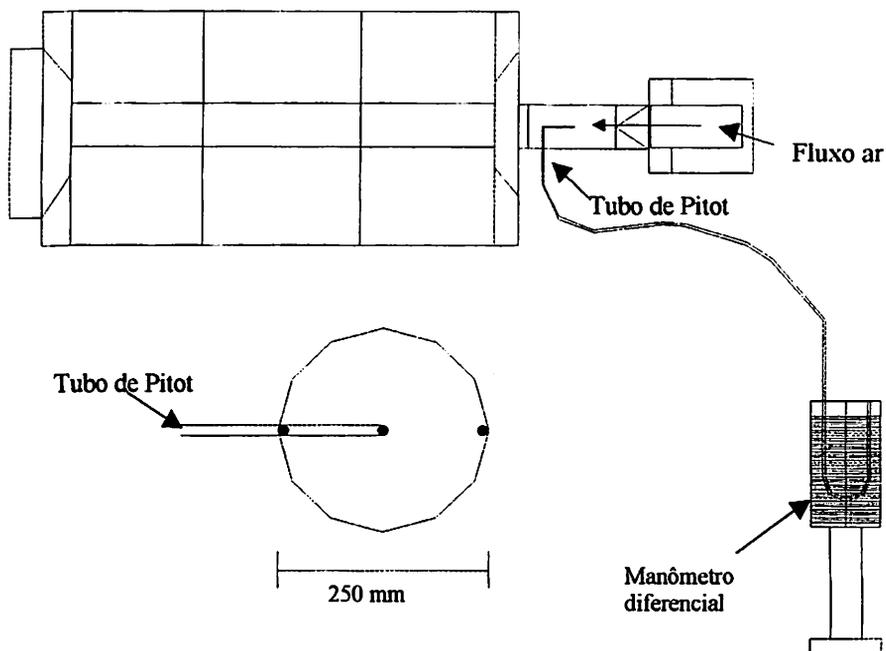


FIGURA 9 Posicionamento do tubo de pitot no duto de entrada do ar de secagem e corte radial indicando o posicionamento do tubo de pitot na seção do duto.

O tubo de Pitot foi conectado a um manômetro em U com precisão de 0,2 cm e as leituras obtidas a partir do deslocamento de um líquido de densidade 1.

A velocidade do ar foi calculada usando as equações 3, 4 e 5.

Equação 3

$$V_{ar} = 893,03 * (P_v/D_{ar})^{-1/2}$$

em que:

$V_{ar}$  = Velocidade do ar ( $m \cdot min^{-1}$ );

$P_v$  = Pressão de velocidade, (cm. H<sub>2</sub>O);

$D_{ar}$  = Densidade do ar, (kg/m<sup>3</sup>);

Equação 4

$$D_{ar} = 3,48 * (Pb/T)$$

em que:

$D_{ar}$  = Densidade do ar (kg.m<sup>-3</sup>);

$Pb$  = Pressão barométrica local,

$T$  = Temperatura absoluta (°C + 273,15);

Equação 5

$$Pb = 101,325 * (1 - 2,25577 * 10^{-5} * L)^{5,2559}$$

em que:

101,325 = Pressão barométrica ao nível do mar (kPa);

$Pb$  = Pressão barométrica local (kPa);

$L$  = Altitude, (m); valida para (-500 até 11.000 m);

O fluxo de ar foi calculado usando-se a equação 6.

Equação 6

$$F_{ar} = A_d * V_{ar}$$

em que:

$F_{ar}$  = Fluxo de ar (m<sup>3</sup> . min<sup>-1</sup>);

$A_d$  = Área do duto (m<sup>2</sup>);

$V_{ar}$  = Velocidade do ar (m min<sup>-1</sup>);

A densidade de fluxo de ar foi calculada pela equação 7.

Equação 7

$$D_{ar} = F_{ar} / A_{sec}$$

em que:

$D_{ar}$  = Densidade de fluxo de ar ( $m^3 \cdot min^{-1} \cdot m^{-2}$ );

$F_{ar}$  = Fluxo de ar ( $m^3 \cdot min^{-1}$ );

$A_{sec}$  = Área de secagem, que no caso do secador rotativo de 5.000 litros corresponde à área da seção do plenum que é de  $4 m^2$ .

### 3.6.6 Consumo de GLP

O consumo de GLP foi determinado por meio de gasômetro da marca Equimeter modelo S-275 instalado na linha de alimentação do secador. As leituras obtidas em volume ( $m^3$ ) foram transformadas em massa de GLP, segundo Cliford (1973), a partir da equação 8.

Equação 8

$$M = 2,23 * V$$

em que:

$M$  = Massa de GLP (kg);

$V$  = Volume do GLP ( $m^3$ );

### 3.6.7 Consumo de lenha

Antes da secagem, pesou-se e empilhou-se um lote de  $2 m^3$  de lenha padronizada em toletes de 50 cm. O operador da fomalha utilizou a lenha deste lote no decorrer da secagem, tendo o cuidado de não desmanchar a pilha. Após a secagem, fez novamente a pesagem e a medição do volume da lenha que não foi utilizada. Desta maneira, efetuando-se a diferença entre o volume e peso da lenha antes e após o uso, obteve-se o consumo da lenha em  $m^3$  e em kg.

A pesagem foi realizada em balança com capacidade de 200 kg e o volume foi determinado medindo-se as dimensões do cubo formado pela pilha, com uma trena.

### 3.6.8 Consumo de energia elétrica

O consumo de energia elétrica foi determinado medindo-se a corrente elétrica ao longo da secagem com um amperímetro alicate. Foram usadas as equações 9 e 10 para calcular o consumo de energia elétrica.

Equação 9

$$P_{ativa} = I_{média} \times FP^{1/3}$$

em que:

$P_{ativa}$  = Potência ativa (Watts);

$I_{média}$  = corrente média medida com amperímetro (Amperes).

$FP$  = Fator de potência, determinado a partir da curva característica dos motores.

Equação 10

$$C = P_{ativa} \times T / 1000$$

em que:

$C$  = Consumo (kWh);

$P_{ativa}$  = Potência ativa (Watts);

$T$  = Tempo de funcionamento do motor (horas).

### 3.6.9 Poder calorífico e umidade da lenha

O poder calorífico superior foi determinado por meio de uma bomba calorimétrica adiabática. A umidade da lenha foi determinada pelo método padrão de estufa a 105 °C, por 48 horas.

O poder calorífico inferior (PCI) foi calculado empregando-se a equação 11:

Equação 11

$$PCI = PCS. (1 - 0,0114 \cdot U)$$

Em que:

PCI = poder calorífico inferior ( $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ );

PCS = poder calorífico superior ( $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ );

U = Umidade da lenha (% b.u);

### 3.6.10 Eficiência energética

A eficiência energética foi determinada segundo Souza (2000), utilizando a equação 12:

Equação 12

$$\eta_{\text{energ.}} = \frac{(C_c \times P_{ci}) + C_e}{M_a}$$

Ma

em que:

$\eta_{\text{energ.}}$  = Eficiência energética, em  $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$  de água removida;

$C_c$  = Consumo de combustível (kg);

$P_{ci}$  = Poder calorífico inferior ( $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ );

$C_e$  = Consumo de energia elétrica (kJ);

$M_a$  = Massa de água removida (kg);

### 3.6.11 Eficiência de secagem

A eficiência da secagem foi determinada segundo Silva (2000) utilizando a equação 13:

$$\eta = 100 \cdot \frac{(Ma \cdot cv) + (ca \cdot m \cdot (Ts - Ti))}{Q_{lenha} \cdot PCI}$$

em que:

Ma = Massa de água removida, em kg;

cv = Calor de vaporização da água no café, kcal/kg;

ca = Calor específico do café (kcal /kg . °C);

m = Massa do café (kg);

Ts = Temperatura do ar de secagem (°C);

Ti = Temperatura do ar ambiente (°C);

Q<sub>lenha</sub> = Quantidade de combustível usado na secagem (kg);

PCI = Poder Calorífico Inferior (kcal/kg de lenha).

### 3.6.12 Avaliação do desempenho de sistemas de secagem

Foi avaliada segundo metodologia descrita por Barker Arkema, adaptada por Osório(1982) e Silva (1991) e utilizada em trabalhos de avaliação de sistemas de secagem por Pinto (1993), Lacerda Filho (1998), Campos et al. (1999), Grandi et al. (2000), Silva (2000), Borém et al. (2001), Sobrinho et al. (2001) e Reinato et al. (2001),

### 3.7 Armazenamento e beneficiamento do café

Os lotes formados por cada secador de cada teste foram ensacados pesados e armazenados em galpão próprio até o momento do beneficiamento. O beneficiamento foi realizado na maquina conjugada marca Pinhalense. O café proveniente de cada secagem foi acondicionado em sacos de 60,5kg. O rendimento de cada secagem foi calculado por meio da totalização do número de sacas e do somatório das massas das amostras retiradas de cada secagem.

### **3.8 Avaliação qualitativa do café**

Foram retiradas três amostras de 5 kg de café beneficiado de cada lote, representando um secador.

Estas amostras foram identificadas e acondicionadas em sacos de polietileno, virgem e incolor, em dimensões de 50 x 35 cm. Após a identificação, as amostras foram avaliadas em relação à qualidade, sendo realizadas em triplicata as seguintes análises:

#### **3.8.1 Análise sensorial (prova de xícara)**

As amostras foram enviadas para a prova de xícara, feita na EPAMIG/Campus da UFLA, por provador credenciado.

#### **3.8.2 Número de defeitos**

Os defeitos foram determinados pela separação manual em 100 gramas de amostra; e os dados expressos em número de defeitos, de acordo com a tabela de equivalência de defeitos.

#### **3.8.3 Número de defeitos verde, ardido e preto.**

Os grãos verdes, ardidos e pretos foram contados em 100 gramas de amostra; os dados foram multiplicados por 3 e expressos em número de grãos em 300 gramas.

#### **3.8.4 Número de grãos manchados**

Os grãos manchados foram contados em 100 gramas de amostra; os dados foram expressos em número de grãos manchados em 300 gramas.

### 3.8.5 Condutividade elétrica e lixiviação de potássio

A condutividade elétrica dos grãos beneficiados foi determinada conforme metodologia descrita por Prete (1992). Os resultados foram expressos em  $\mu\text{S}/\text{cm}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$  de amostra. Imediatamente após a leitura da condutividade elétrica, foi realizada a análise de lixiviação de potássio em fotômetro de chama. Os resultados foram expressos em ppm/g de amostra (Prete, 1992).

### 3.8.6 Acidez titulável total

A acidez titulável foi determinada por titulação com NaOH 0,1 N, de acordo com técnica descrita pela AOAC (1990) e expressa em ml de NaOH 0,1 N por 100 g de amostra.

## 3.9 Determinação dos custos

Para determinação do custo de secagem, foram usadas as seguintes equações para os seguintes parâmetros:

### 3.9.1 Custos fixos:

A depreciação da fomalha e do queimador foi calculada utilizando o método de depreciação linear, por meio das equações 14 e 15:

Equação 14

$$C.D = (V_i - V_s) / ((V_{\text{util}} / N_{\text{sec}}) * N_{\text{sacas}})$$

Equação 15

$$V_s = 0,20 \times V_i$$

em que:

C.D = Custo de depreciação (R\$/saca);

$V_i$  = Valor do equipamento nova (R\$);

$V_s$  = Valor de sucata do equipamento (R\$);

$V_{\text{util}}$  = Vida útil

$N_{sec}$  = Número de secagem por ano,

$N_{sacas}$  = Número de sacas por secagem,

### 3.9.2 Custos variáveis

O custo de mão-de-obra foi estimado usando-se a equação 16:

Equação 16

$$C.M.O. = (T_{sec}/J_m) * (S_{al}/N_{sacas}) * K$$

em que:

$T_{sec}$  = Tempo total de secagem (horas);

$J_m$  = Jornada de trabalho mensal (horas);

$S_{al}$  = Salário mensal incluindo encargos sociais (R\$);

$N_{sacas}$  = Número de sacas por secagem,

$K$  = Fator de utilização de mão de obra, onde  $K = 1,5$  para lenha

e  $K = 0,625$  para GLP.

O custo de combustível ( lenha ou GLP) foi calculado pelas equações 17 e 18 e se referem a uma secagem:

No caso do GLP:

Equação 17

$$C.C = (P_e * P_r) / N_{sacas}$$

em que:

$C.C$  = Custo de combustível (R\$/sacas);

$P_e$  = Peso do combustível por secagem (kg);

$P_r$  = Preço do kg do GLP praticado na região (R\$/kg); valor encontrado por meio de pesquisa de mercado realizado na região.

$N_{sacas}$  = Número de sacas por secagem,

No caso da lenha:

Equação 18

$$C.C = (V_c * P_r) / N_{sacas}$$

em que:

C.C = Custo de combustível (R\$/sacas);

$V_c$  = Volume do combustível ( $m^3$ );

$P_r$  = Preço do  $m^3$  da lenha praticada na região com frete incluso (R\$/ $m^3$ ), realizado por meio de pesquisa de mercado realizado na região.

$N_{sacas}$  = Número de sacas por secagem,

### 3.9.3 Custo total de secagem:

É composto dos custos fixo e variável e foi calculado pela equação 19:

Equação 19

$$C_{Total} = C_{.D} + C_{.M.O.} + C_C$$

em que:

$C_{.Total}$  = Custo total (R\$/saca);

$C_{.D.}$  = Custo de depreciação (R\$/saca);

$C_{.C}$  = Custo de combustível (R\$/saca);

$C_{.M.O.}$  = Custo de mão-de-obra (R\$/saca);

### 3.10 Análise estatística

Os dados obtidos para os parâmetros qualitativos foram analisados estatisticamente por meio da comparação entre médias. Para tal fez-se uso do teste Tuckey, a 5% de probabilidade.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados apresentados neste trabalho foram obtidos buscando-se controlar e uniformizar, da melhor maneira possível, as condições de realização dentro de cada teste. Considerando que estas condições foram obtidas, porém diferentes para cada um dos testes, a análise e a discussão dos resultados foram realizados somente entre as secagens de cada um dos quatro testes, não sendo feitas comparações entre diferentes testes. Ressalta-se também que os resultados se limitam às condições dos testes experimentais.

### 4.1 Variações da temperatura do ar no plenum, temperatura e umidade da massa de café no sentido radial e longitudinal durante os testes que compararam o uso de GLP e lenha como combustíveis para o aquecimento do ar.

As variações ocorridas na temperatura do ar do plenum, na temperatura e umidade da massa de café no sentido radial nas três seções do secador no primeiro teste que comparou a secagem usando GLP e lenha com combustíveis, são apresentadas, respectivamente, nas Figuras 10 e 11.

Nota-se que os valores de temperatura no plenum apresentaram uma menor oscilação na secagem que usou GLP (Figura 10) comparativamente à secagem que usou lenha (Figura 11).

Enquanto na secagem com GLP o queimador era equipado com sistema de automação e controle, garantindo assim maior estabilidade da temperatura do ar de secagem, na secagem com lenha o controle de temperatura era obtido a partir do fornecimento manual de lenha na fomalha.

O princípio de funcionamento dos equipamentos usados para o aquecimento do ar também explica os valores máximos atingidos pela

temperatura do ar no plenum, bem como o tempo necessário para o aquecimento e resfriamento do ar.

Na secagem com lenha, além da temperatura máxima ter sido inferior à temperatura máxima na secagem com GLP, a elevação e redução da temperatura foram lentas e graduais, atingindo valores de até 80 °C, antes do repouso e 89 °C após o repouso nas seções 1 e 2 e 71 °C antes do repouso e 80 °C após o repouso na seção 3 do secador (Figura 11). Na secagem com GLP, as temperaturas máximas foram rapidamente alcançadas, atingindo valores de 90 °C na seção 1, 85 °C na seção 2 e 75 °C na seção 3 antes do repouso, e 103 °C na seção 1, 99 °C na seção 2 e 80 °C na seção 3, após o repouso (Figura 10).

Tanto na secagem com GLP como na secagem com lenha, a redução da temperatura do ar no plenum para valores inferiores a 60 °C ocorreu no momento em que o termômetro do secador indicou valor de 45 °C.

Observa-se que tanto as oscilações na temperatura como os valores máximos atingidos na massa seguiram as variações ocorridas no ar do plenum.

Desta maneira, a temperatura da massa do café atingiu valores mais elevados na secagem com GLP, sendo registrados valores de até 70 °C na seção 2 do secador (Figura 10), um valor médio de 58 °C próximo ao plenum, 51 °C no centro do secador e 45 °C próximo à exaustão. Além disso, observa-se um gradiente de temperatura de 15° a 25 °C no sentido radial. Este gradiente somente foi inferior a 5 °C, nas últimas horas de secagem, quando a temperatura do ar no plenum foi mantida em torno de 60°.

Na secagem com lenha (Figura 11), a temperatura máxima atingida pela massa de café foi de 68 °C na seção 2 do secador, e valores médios de 61 °C próximo ao plenum 50 °C no centro do secador e 45 °C próximo à exaustão.

Os gradientes de temperatura no sentido radial foram menores variando entre 5 e 15 °C. Igualmente ao que foi observado na secagem com GLP em que

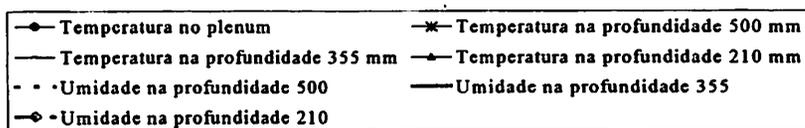
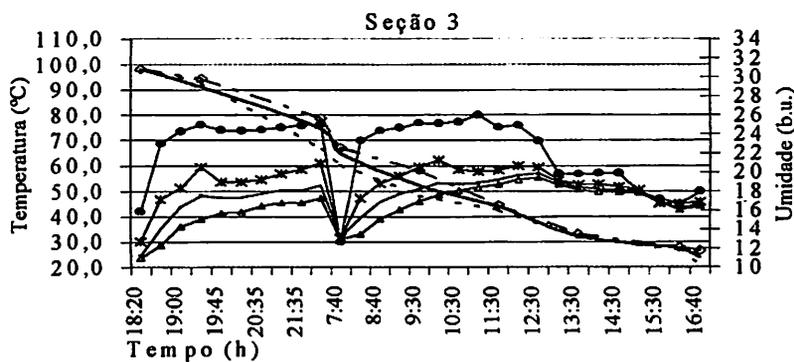
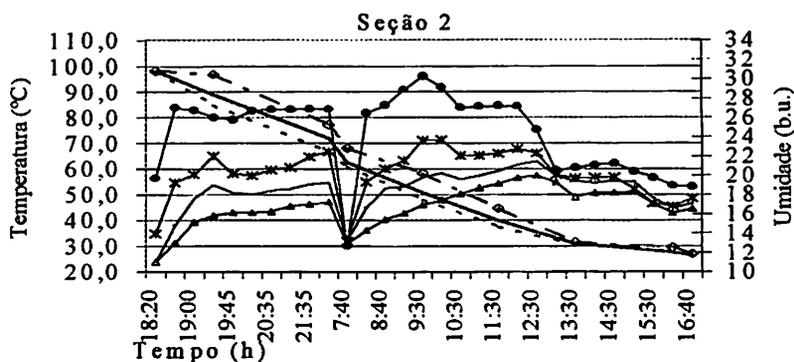
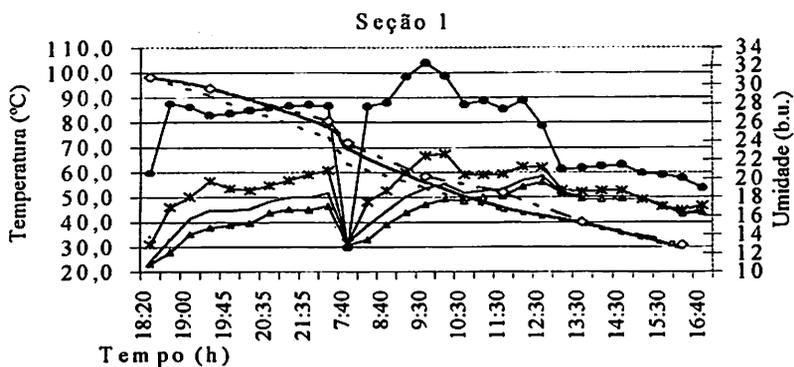


FIGURA 10 Variações de temperatura do ar do plenum, na temperatura e umidade da massa de café no sentido radial, nas três seções do secador no primeiro teste para a secagem que usou GLP.

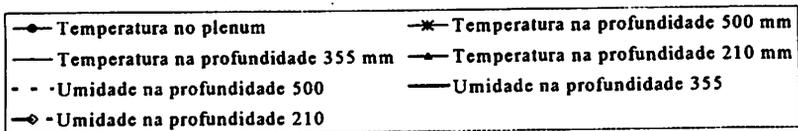
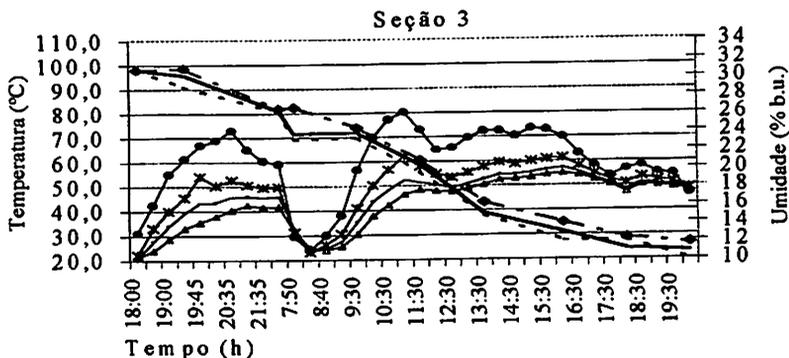
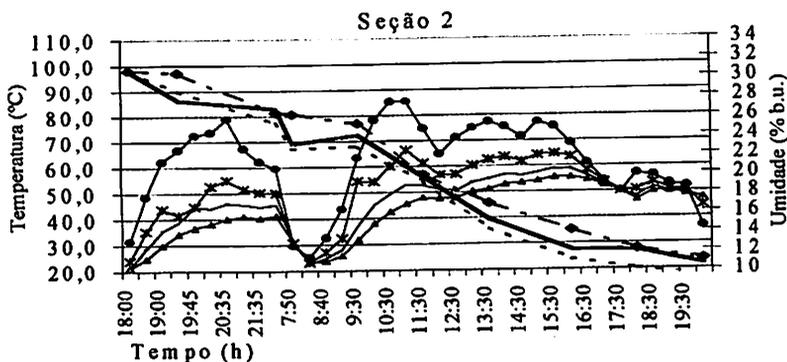
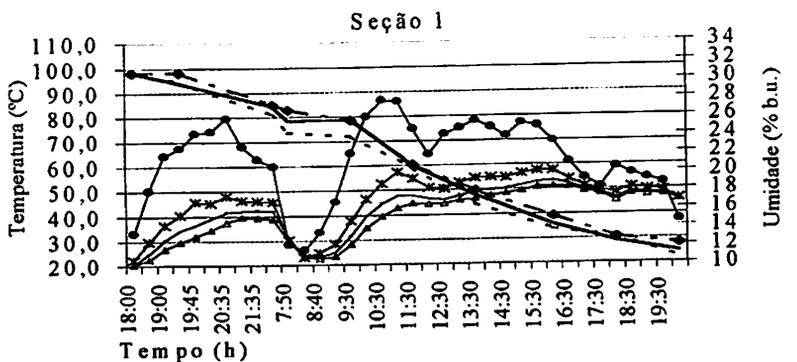


FIGURA 11 Variações de temperatura do ar do plenum, na temperatura e umidade da massa de café no sentido radial, nas três seções do secador no primeiro teste para a secagem que usou lenha.

gradiente foi inferior a 5 °C quando a temperatura do ar no plenum foi mantida abaixo de 60 °C.

Estas observações foram consideradas de grande relevância, pois, durante toda a secagem, a temperatura registrada no termômetro bimetalico do secador não ultrapassou o valor de 45 °C. Esse critério é adotado por grande número de produtores. Entretanto, os valores observados na massa do café foram bem superiores a 45 °C, contrariando as recomendações técnicas para secagem. Os efeitos dos valores e da distribuição da temperatura sobre o conteúdo de umidade do café serão discutidos a seguir, ao passo que os efeitos sobre a qualidade serão discutidos no item 4.4.

Conforme pode ser observado nas Figuras 10 e 11, logo após o início da secagem formou-se um gradiente de umidade de até 3 pontos percentuais, sendo mais acentuado na seção 2 do secador.

Na secagem com GLP, este gradiente não foi mais observado a partir do momento em que se reduziu a temperatura do ar no plenum para valores abaixo de 60°C, coincidindo com a redução do gradiente de temperatura na massa. Na secagem com lenha, no entanto, o gradiente, além de ter sido mais acentuado manteve-se até o final da secagem na seção 2.

Ao longo de toda a secagem, independentemente do tipo de combustível, os maiores gradientes de umidade do produto no sentido radial ocorreram na seção 2 dos secadores. Nesta seção, foram observados valores maiores valores de pressão estática no plenum (Tabela 3), indicando uma desuniformidade de distribuição do ar.

Para uma mesma área de secagem e espessura da camada de produto maiores valores de pressão estático resultaram em maiores fluxos de ar.

TABELA 3 Valores médios da pressão estática nas três seções dos secadores para as secagens dos testes 1 2 3 e 4.

Pressão estática, em mm.c.a.	Seção 1	Seção 2	Seção 3
Teste 1	1,5	6,5	4
Teste 2	2,5	7,5	4
Teste 3	1	6	4
Teste 4	1	6	4
Valor médio	2	7	4

A redução do gradiente de umidade no sentido radial não se deve, portanto, apenas à movimentação do café que naturalmente ocorre quando se verifica a contração volumétrica da massa. Ela ocorre também em razão da redução do gradiente de temperatura no sentido radial.

As variações na temperatura e umidade da massa de café no sentido longitudinal em três profundidades (210 mm; 355 mm, 510 mm) no primeiro teste que comparou GLP e lenha com combustíveis são apresentados, respectivamente, nas Figuras 12 e 13.

De maneira geral, o gradiente de temperatura observado longitudinalmente na massa de café foi bem menor do que no sentido radial. Os maiores gradientes ocorreram próximo ao plenum (500 mm de profundidade), não sendo observado gradiente de temperatura próximo à exaustão do ar (210 mm de profundidade). O gradiente de temperatura, observado longitudinalmente, ocorreu como consequência da desuniformidade na distribuição do ar, conforme discutido anteriormente.

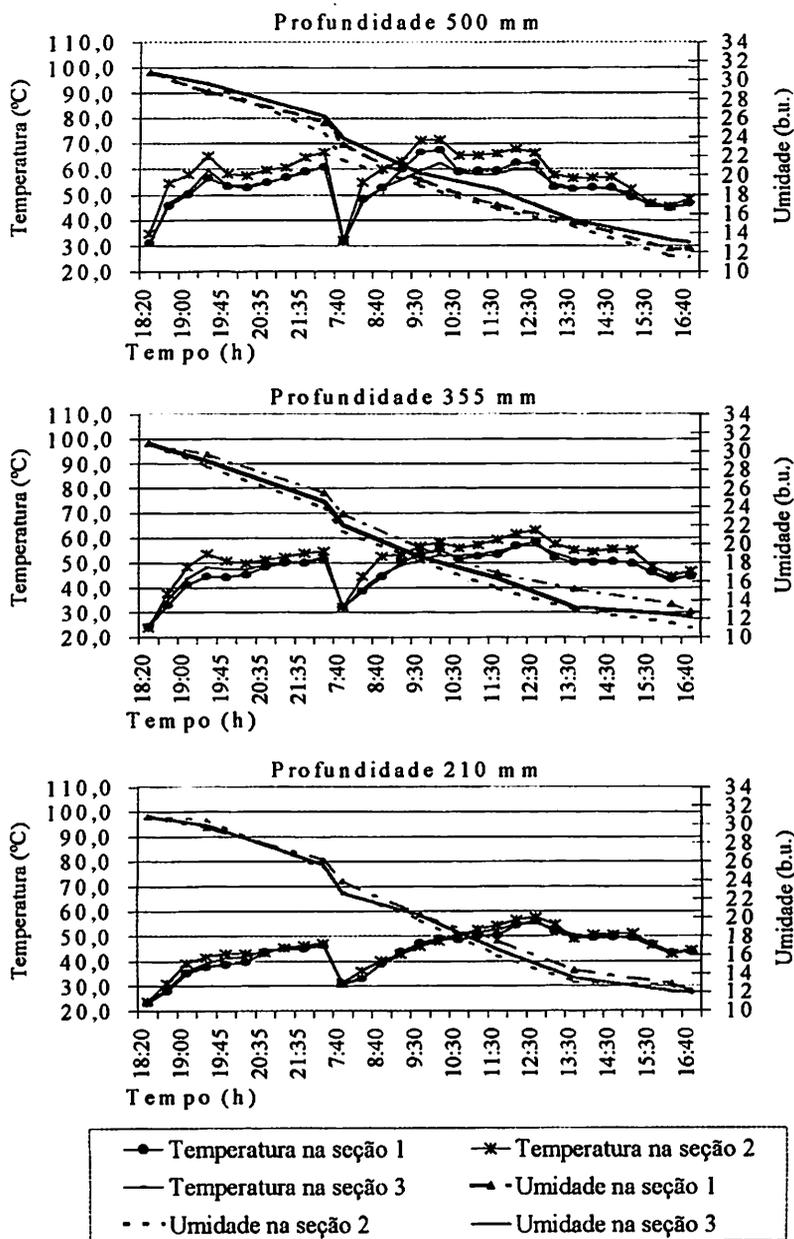
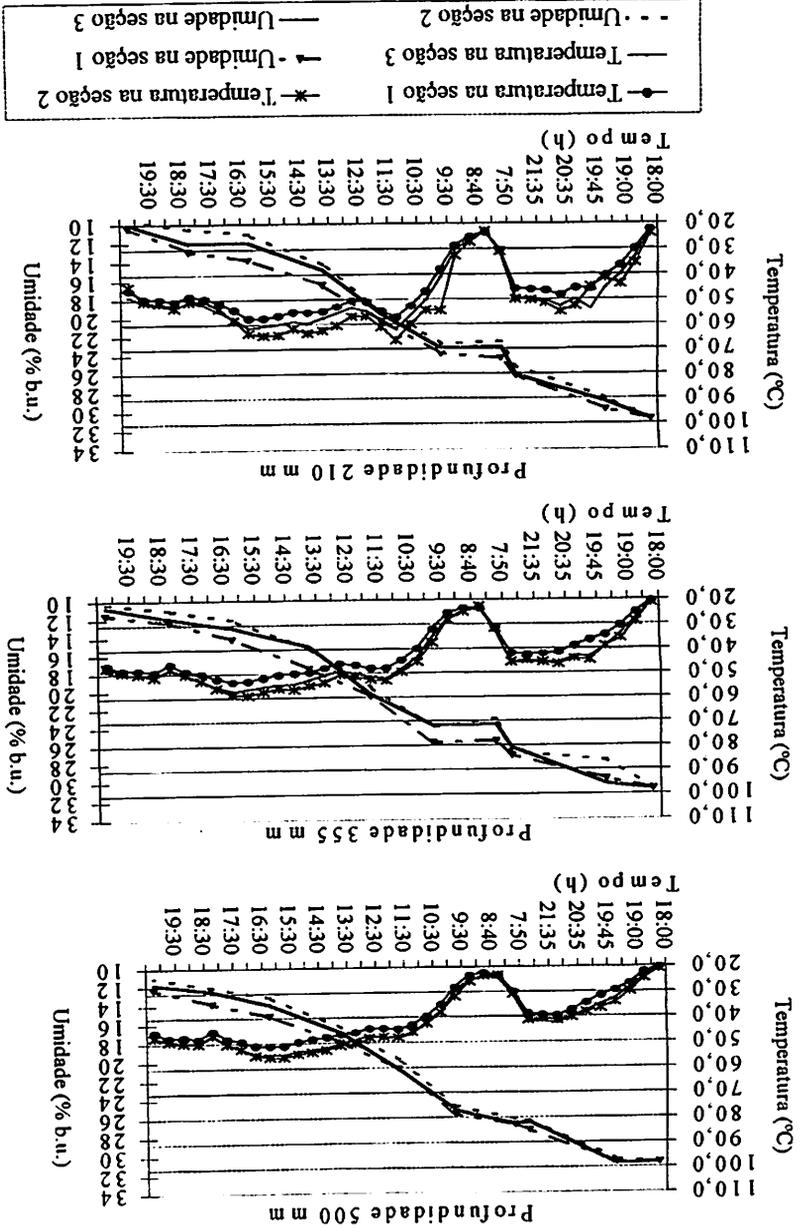


FIGURA 12 Variações da temperatura e umidade da massa de café no sentido longitudinal nas três seções do secador no primeiro teste para a secagem que usou GLP.

FIGURA 13 Variações da temperatura e umidade da massa de café, no sentido longitudinal, nas três seções do secador, no primeiro teste para a secagem que usou lenha.



Quanto ao gradiente de umidade, observa-se que nas profundidades 500 mm e 355 mm, mesmo no final da secagem, independentemente do combustível usado, observaram-se diferenças de até 2 pontos percentuais. Já na profundidade de 210 mm, próximo à exaustão do ar, não se observou gradiente de umidade. Este fato possivelmente ocorreu tanto por não ter ocorrido gradiente de temperatura como também uma provável movimentação longitudinal do café mais eficiente.

As variações ocorridas na temperatura do ar do plenum, na temperatura e umidade da massa de café no sentido radial nas três seções do secador no segundo teste que comparou a secagem usando GLP e lenha como combustíveis, são apresentadas, respectivamente, nas Figuras 14 e 15.

Como observado no teste 1, nota-se que os valores de temperatura no plenum apresentaram uma menor oscilação na secagem que usou GLP.

Na secagem com GLP, observou-se uma constância na temperatura no plenum, atingindo valores médios de 79 °C na seção 1, 76 °C na seção 2 e 70 °C na seção 3.

Observou-se, na secagem com GLP, que a redução de temperatura no plenum para valores abaixo de 60 °C, ocorreu somente uma hora e quarenta minutos do término da secagem. Esse comportamento e a maior constância de temperatura do ar no plenum, comparativamente à secagem com GLP do teste 1, ocorreram devido ao melhor treinamento e, conseqüentemente um melhor domínio do manejo do queimador.

Na secagem com lenha, observou-se que as curvas de temperatura do plenum tiveram um comportamento similar à secagem com lenha do teste 1. Ou seja, elevação e redução de temperaturas de forma lenta e gradual, quando comparadas com as elevações e reduções de temperaturas nas secagens com GLP.

Na secagem à lenha, os valores máximos de temperatura no ar do plenum foram de 94 °C na seção 1, 92 °C na seção 2 e de 78 °C na seção 3. Na secagem com GLP estes valores foram de 92 °C na seção 1, 86 °C na seção 2 e 77 °C na seção 3. Apesar de valores máximos menores na secagem com GLP, os valores médios das temperaturas no plenum foram maiores que os encontrados na secagem a lenha. Isso ocorreu devido a menores oscilações de temperaturas na secagem com GLP, quando comparada com a secagem à lenha.

Como na secagem do teste 1, observou-se maior gradiente de temperatura na secagem que utilizou GLP, atingindo valores de 25 °C no sentido radial. Já na secagem a lenha, os gradientes de temperatura variaram de 5 ° a 19 °C. Estes valores foram observados na seção 2, Figuras 14 e 15.

Os valores observados na massa do café foram superiores a 45 °C chegando a 66 °C na secagem a lenha e 62 °C na secagem com GLP. No entanto, o critério para que o valor de 45 °C no termômetro bimetalico não fosse superado foi obedecido.

Conforme pode ser observado nas Figuras 14 e 15, após a segunda hora de secagem, formou-se gradiente de umidade de até 4 pontos percentuais na secagem com GLP e de até 2 pontos percentuais na secagem com lenha. Menores gradientes de umidade na secagem a lenha nas primeiras horas de secagem ocorreram em função de uma elevação mais lenta da temperatura da massa de café no início da secagem.

Igualmente ao teste 1, observou-se, que independentemente do combustível, os maiores gradientes de umidade do produto ocorreram na seção 2. A explicação para este fato já foi discutida no teste 1.

Comparando as secagens do teste 2, percebe-se que os gradientes de umidade foram mais acentuados para a secagem a lenha. Isto está relacionado a menores gradientes de temperaturas e temperaturas médias menores na secagem em que se usou lenha como combustível.

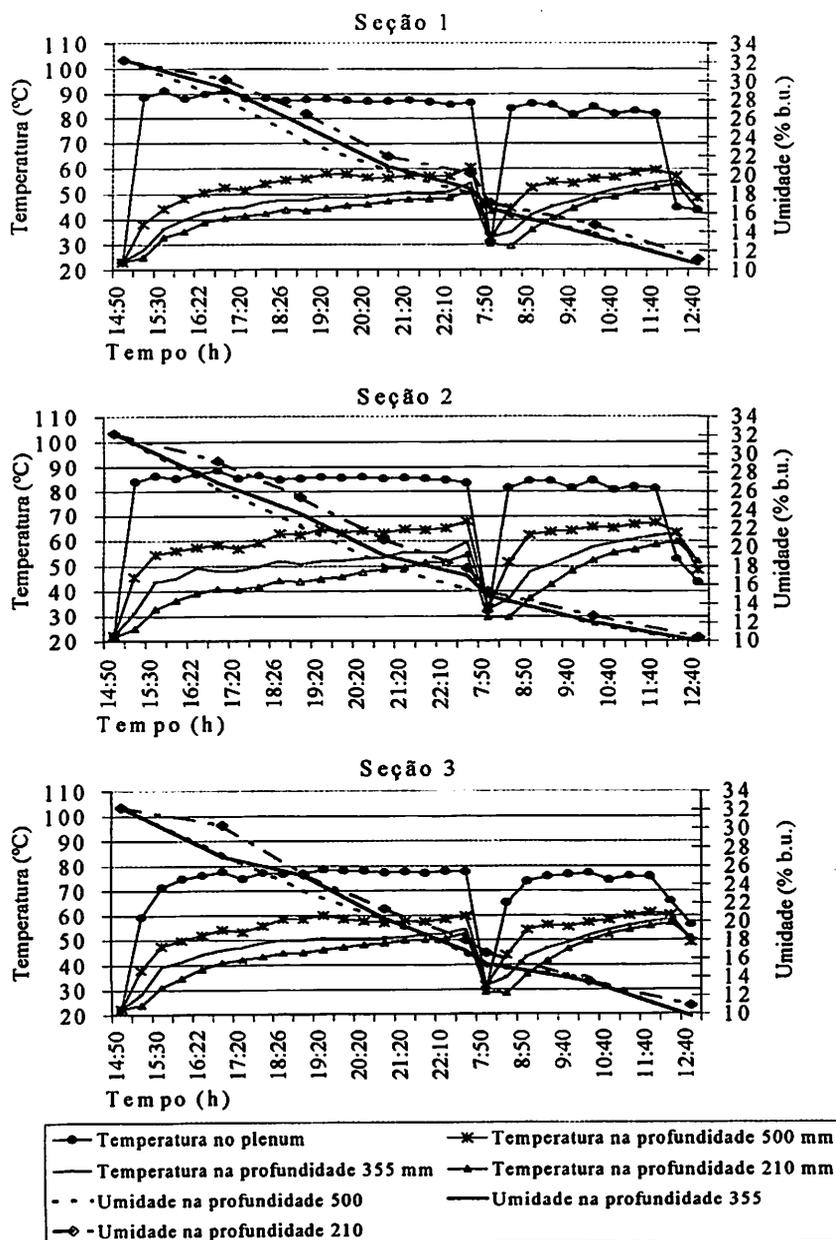


FIGURA 14 Variações de temperatura do ar do plenum, na temperatura e umidade da massa de café, no sentido radial, nas três seções do secador, no segundo teste para a secagem que usou GLP.

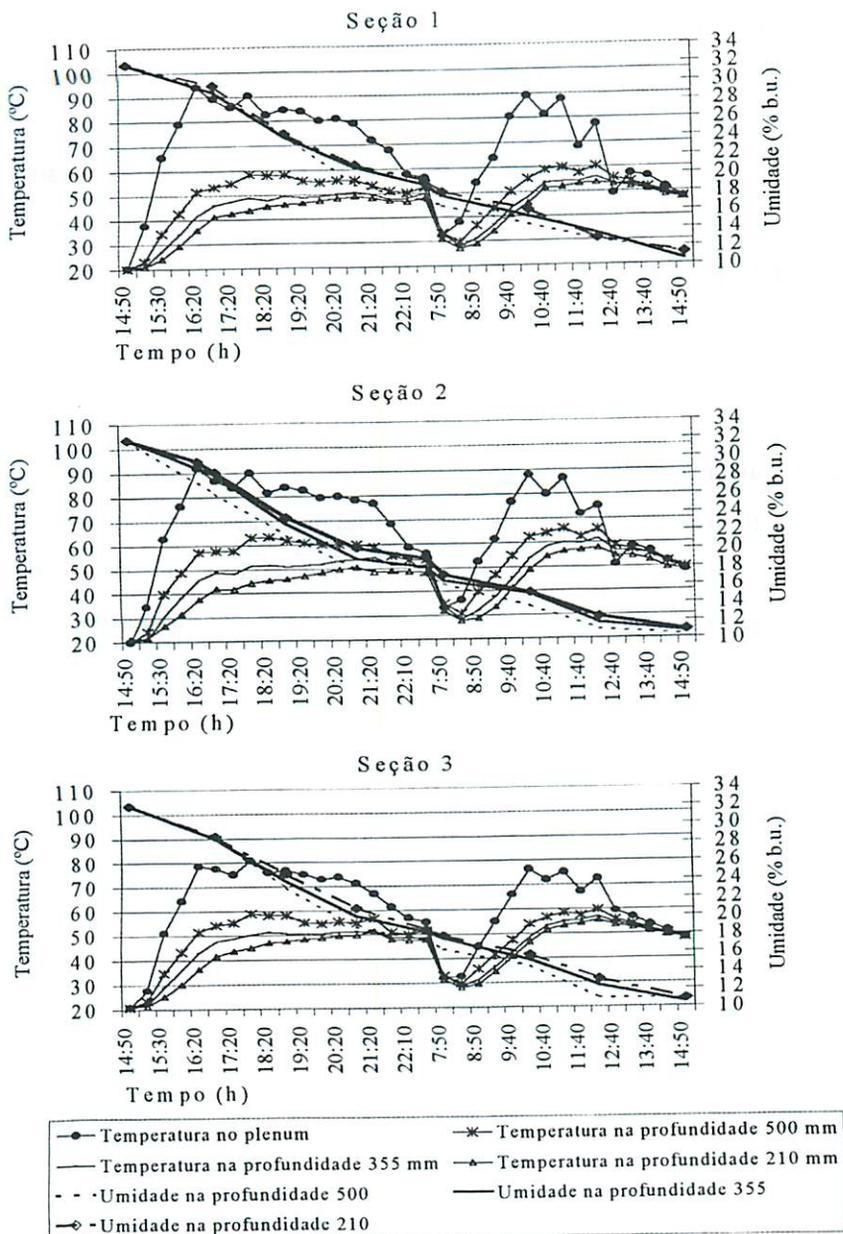


FIGURA 15 Variações de temperatura do ar do plenum, na temperatura e umidade da massa de café, no sentido radial, nas três seções do secador, no segundo teste para a secagem que usou lenha.

As variações na temperatura e umidade da massa de café no sentido longitudinal em três profundidades (210 mm, 355 mm e 500 mm) no segundo teste que comparou GLP e lenha com combustíveis são apresentados respectivamente, nas Figuras 16 e 17.

Reforçando o que já foi observado no teste 1, o gradiente observado longitudinalmente na massa de café foi menor que no sentido radial.

Observa-se que, independentemente do combustível usado, os menores gradientes de temperatura ocorreram na profundidade 210 mm.

Observa-se que, como no teste 1, os gradientes de umidade na profundidade 210 mm praticamente não existiram; na profundidade 500 mm, o gradiente de umidade variou em torno de 2 pontos durante a secagem e um ponto percentual no final da secagem. Este fato já foi discutido no teste anterior.

Demais comportamentos de gradientes de temperatura da massa e de gradientes de umidade foram similares aos descritos nas secagens do teste 1.

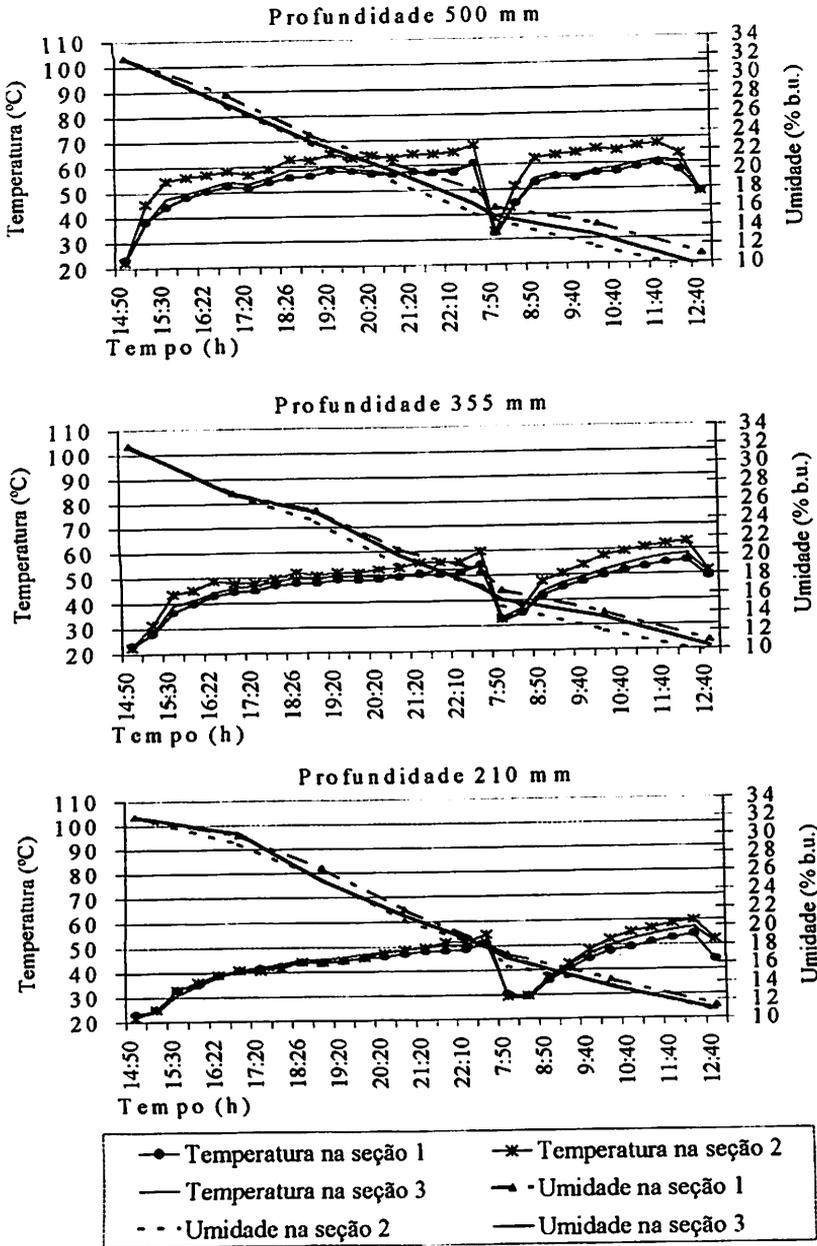


FIGURA 16 Variações da temperatura e umidade da massa de café, no sentido longitudinal, nas três seções do secador, no segundo teste para a secagem que usou GLP.

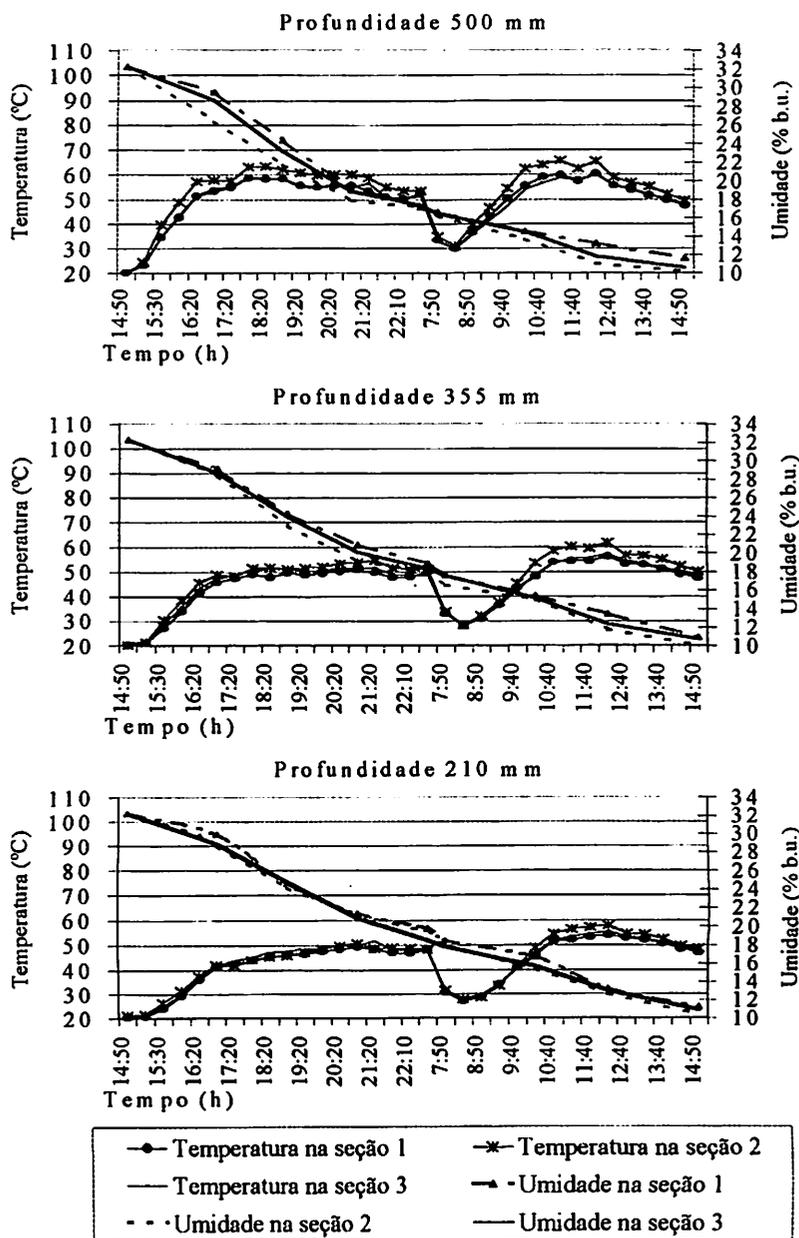


FIGURA 17 Variações da temperatura e umidade da massa de café, no sentido longitudinal, nas três seções do secador, no segundo teste para a secagem que usou lenha.

#### 4.2 Variações médias da temperatura do ar de secagem, temperatura e umidade da massa de café durante os testes que compararam o uso de GLP e lenha como combustíveis.

Os valores médios da temperatura do ar de secagem, da temperatura da massa e do teor de água do café do primeiro e do segundo testes são apresentados, respectivamente, nas Figuras 18 e 19.

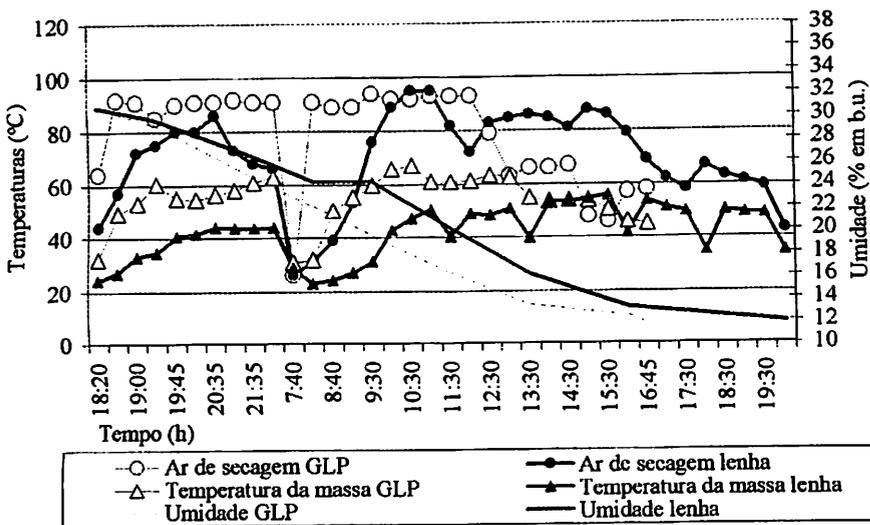


FIGURA 18 Valores médios da temperatura do ar de secagem, da temperatura da massa e do teor de água do café do primeiro teste.

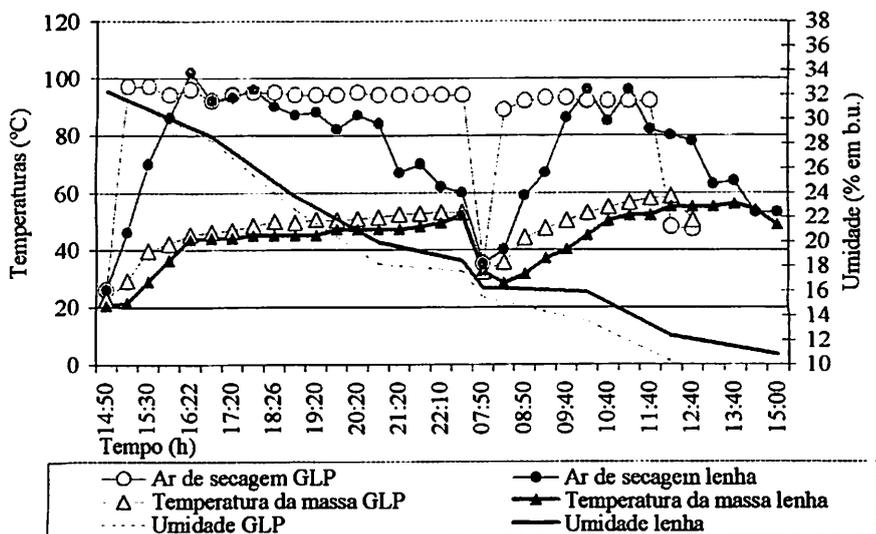


FIGURA 19 Valores médios da temperatura do ar de secagem, da temperatura da massa e do teor de água do café do segundo teste.

Observa-se que tanto no primeiro como no segundo teste, a temperatura do ar de secagem aquecido com GLP atingiu rapidamente valores próximos a 90 °C. No entanto, no aquecimento do ar usando lenha, temperaturas próximas a 90 °C somente foram atingidas duas horas após o início da operação. Enquanto o aquecimento do ar usando GLP foi feito queimando-se diretamente o combustível em contato com o ar, o aquecimento usando lenha foi realizado por meio de fomalha de fogo indireto.

Variações semelhantes também podem ser observadas antes do repouso e antes do final da secagem. Nota-se uma queda brusca da temperatura do ar de secagem aquecido com GLP e uma queda lenta e gradual da temperatura do ar aquecido com lenha.

Além disso, a temperatura do ar de secagem aquecida com GLP manteve-se próxima de 90 °C com variação de aproximadamente 2 °C. Já a temperatura do ar de secagem aquecido com lenha apresentou variações superiores a 10 °C.

Todas essas variações observadas resultam, conseqüentemente, num valor médio de temperatura no ar de secagem menor quando aquecido com lenha, comparativamente ao aquecimento com GLP. Este valor médio menor resultou em velocidade e tempo de secagem diferente, como será discutido em seguida.

Maiores valores na temperatura da massa de café nas secagens que utilizaram GLP ocorreram em conseqüência de maiores temperaturas obtidas no ar de secagem. Variações observadas na massa de café ocorreram com maior intensidade nas secagens realizadas com lenha e estão relacionadas com a inconstância de fornecimento de lenha na fomalha.

Comparando as curvas de perda de umidade observou-se uma maior redução de umidade por unidade de tempo para as secagens que utilizaram GLP como combustível, em função dos maiores valores de temperatura obtidas na massa de café.

No teste 1, a secagem que utilizou lenha demorou quatro horas a mais em relação à secagem que utilizou GLP. No teste 2, o tempo de secagem quando se utilizou lenha foi 3 horas e 25 minutos maior que a secagem que utilizou GLP. Maiores tempos obtidos na secagem com lenha foram provocados por menores temperaturas do ar de secagem e na massa de café.

### **4.3 Avaliação energética**

Os resultados da avaliação do desempenho dos secadores nos testes 1 e 2 são apresentados na Tabela 4.

Observa-se que os conteúdos de unidade iniciais e finais dentro de cada teste foram bem próximos, mostrando a uniformidade da matéria-prima neste experimento.

As temperaturas médias do ar de secagem foram menores para as secagens que usaram lenha, em relação às secagens que usaram GLP nos testes 1 e 2.

Comparando a umidade relativa do ar ambiente no teste 1 e 2, observa-se que esta foi maior no teste 1. Neste também foi registrada uma temperatura média do ar ambiente menor, fato esse que possivelmente pode ter influenciado negativamente na eficiência da secagem no teste 1.

Os valores de pressão estática apresentados na Tabela 4 são valores médios, pois, conforme já foi discutido, a pressão estática variou entre as seções (Tabela 3) do secador, chegando a valores de 7mm.c.a. na seção dois e 2mm.c.a. na seção um.

O poder calorífico inferior da lenha foi de 14664,55 kJ . kg<sup>-1</sup>. Este valor é compatível com os valores encontrados por Andrade et al. (1985).

Nas secagens com GLP, apesar de um equipamento a mais para consumir energia, no caso o queimador, as secagens a lenha apresentaram um maior consumo total de energia elétrica. Esse fato ocorreu devido ao maior tempo de funcionamento do sistema de secagem.

Verificou-se que o consumo específico de energia para as secagens que utilizaram lenha foi maior do que as secagens que usaram GLP. A eficiência do sistema avaliado na Tabela 4 levou em consideração as perdas ocorridas desde a queima do combustível, passando pelos dutos de ventilação, ventilador, plenum do secador e a energia não aproveitada para a retirada de água da massa do café.

Observou-se também nos testes 1 e 2, uma eficiência mais baixa nas secagens que usaram lenha como combustível, quando comparadas com a as secagens que utilizaram GLP.

TABELA 4: Resultado experimental da avaliação energética do sistema

Parâmetros:	Teste 1		Teste 2	
	GLP 1	Lenha 1	GLP 2	Lenha 2
1) Do produto				
Teor de umidade inicial (%b.u.)	30,83	30,83	32,26	32,26
Teor de umidade final (%b.u.)	11,78	11,90	10,27	10,79
Massa específica aparente inicial (kg.m <sup>-3</sup> )	474,58	474,45	459,08	456,74
Massa específica aparente final (kg.m <sup>-3</sup> )	421,44	423,21	421,97	416,81
Massa inicial (kg)	2391,90	2377,00	2350,50	2338,50
Massa final (kg)	1875,43	1866,37	1774,37	1775,60
2) Do ar				
Temperatura de secagem (°C)	80,50	71,09	86,14	73,48
Temperatura ambiente (°C)	22,00	21,89	24,74	24,74
Umidade relativa ambiente (%)	64,27	64,49	61,78	61,56
3) Do secador				
Vazão de ar (m <sup>3</sup> .min <sup>-1</sup> )	79,50	83,25	79,73	83,56
Densidade de fluxo (m <sup>3</sup> .min <sup>-1</sup> .m <sup>-2</sup> )	18,93	19,82	18,98	19,90
Espessura da camada(m)	0,63	0,63	0,63	0,63
Área de secagem (m <sup>2</sup> )	4,20	4,20	4,20	4,20
Pressão estática (mm.c.a.)	4,00	4,00	4,00	4,00
4) Da energia				
Tipo de combustível	GLP	Lenha	GLP	Lenha
Massa de combustível ( kg)	86,91	542,00	93,61	458,50
Poder calorífico inferior(kJ.kg <sup>-1</sup> )	49191,38	14664,55	49191,38	14664,55
Energia elétrica (kWh.)	51,03	41,44	39,62	53,17
5) Do desempenho				
Duração do teste (horas).	21,58	24,58	21,01	24,25
Redução de umidade (%b.u.)	19,05	18,93	21,99	21,47
Cons. específico real(kJ.kg <sup>-1</sup> )				
Com energia elétrica (kJ.kg <sup>-1</sup> )	8566,57	15925,10	8240,24	12284,84
Sem energia elétrica (kJ.kg <sup>-1</sup> )	8277,72	15565,36	7992,68	11944,81
Eficiência de secagem (%)	36,65	19,08	37,52	24,24

Maior consumo específico de energia e menor eficiência nas secagens que utilizaram lenha em comparação às que usaram GLP ocorreram em função do GLP possuir combustão completa e a perda de energia ser menor no sistema do queimador por não possuir trocador de calor. Ao passo que nas secagens que usaram lenha através de fomalha de fogo indireto ocorreu um somatório de várias perdas de calor, além do fato da combustão da lenha ser incompleta. Menores consumos específicos de energia para o aquecimento com GLP também foram obtidos por Sobrinho et al. (2001).

Na Tabela 4, apesar de pequenas diferenças, notam-se maiores fluxos de ar para as secagens nas quais onde o ar foi aquecido por meio da queima da lenha em fomalha de fogo indireto. Esta diferença pode ser explicada devido a área de entrada de ar da fomalha ser maior do que a área de entrada de ar da antecâmara do queimador, resultando em menores perdas de carga nas fomalhas. Sugere-se assim, que a entrada de ar da anticâmara de combustão seja redimensionada.

#### 4.4 Avaliação qualitativa

Os resultados das análises físicas, químicas e sensoriais das amostras de café do teste 1 que compararam a secagem usando GLP ou lenha como combustível, são apresentados nas Tabelas 5, 6 e 7.

TABELA 5 Valores médios de número de defeitos, número de grãos verdes, pretos, ardidos e manchados e umidade em % b.u. das amostras do teste 1.

Análise física						
Secagem	Equivalência em defeitos	Número de grãos verdes	Número de grãos pretos	Número de grãos ardidos	Número de grãos Manchados	Umidade
GLP	91,67 a	180 a	4a	40,67 a	388 a	10,465 a
LENHA	106 a	170 a	2a	44,00 a	415 a	9,928 b
C.V.(%)	20,94	27,4	66,67	30,68	16,79	1,25

Médias seguidas das mesmas letras na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tuckey, a 5% de probabilidade.

TABELA 6 Valores médios da acidez titulável total, lixiviação de potássio condutividade elétrica e prova de xícara para as secagens do teste 1, com a presença de defeitos.

Com defeitos				
Análises química e sensorial				
Secagem	A. T.T. (ml NaOH 0,1 N)	L.K. (ppm)	C.E. ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ )	Prova de xícara
GLP	250,00a	51,41a	142,85a	DURA
LENHA	241,66a	50,34a	140,69a	DURA
C.V.(%)	4,15	7,2	7,56	

Médias seguidas das mesmas letras na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tuckey, a 5% de probabilidade.

TABELA 7 Valores médios de acidez titulável total, lixiviação de potássio condutividade elétrica e prova de xícara para as secagens do teste 1, sem a presença de defeitos.

Sem defeitos				
Análises químicas				
Secagem	A. T.T. (ml NaOH 0,1 N)	L.K. (ppm)	C.E. ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ )	Prova de xícara
<b>GLP</b>	225,00 <sup>a</sup>	43,48a	125,72a	<b>DURA</b>
<b>LENHA</b>	216,66 <sup>a</sup>	44,61a	123,77a	<b>DURA</b>
<b>C.V.(%)</b>	4,62	9,53	7,3	

Médias seguidas das mesmas letras na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tuckey ao nível de 5% de probabilidade.

Os resultados da Tabela 5 indicam que não ocorreram diferenças significativas, a 5% de probabilidade ( $P < 0,05$ ), entre os parâmetros físicos. Exceto a umidade, que foi menor para o teste que usou lenha como combustível.

As diferenças encontradas nas umidades finais nas secagens estão relacionadas com momentos diferentes em que o processo de secagem foi finalizado. Portanto, estas diferenças não foram influenciadas pelo tipo de combustível usado na secagem.

Foram observadas, no teste 1 na secagem com GLP variações menores nas temperaturas do ar do plenum e da massa de café e temperaturas médias do ar de secagem e da massa de café maiores do que as observadas nas secagens à lenha. Apesar disso, nota-se, nas Tabelas 6 e 7, a não ocorrência de diferenças significativas ( $P < 0,05$ ) para os valores de lixiviação de potássio, condutividade elétrica e acidez titulável total.

As diferenças de temperaturas observadas entre as secagens do teste 1 não foram suficientes para provocar diferenças na intensidade de possíveis danos nas membranas celulares.

Com a intenção de observar as diferenças ocorridas devido ao processo de secagem, decidiu-se pela retirada dos grãos defeituosos. Póis, as diferenças existentes quanto a composição dos grãos entre as secagens poderiam ser ocultadas pela presença de defeitos provenientes da matéria-prima.

Nas Tabelas 6 e 7, observou-se que não ocorreram diferenças significativas para os valores de lixiviação de potássio, condutividade elétrica e acidez titulável total. Evidenciando-se, assim, que esses parâmetros qualitativos não foram influenciados pelo tipo de combustível usado na secagem.

Observa-se que a retirada dos grãos defeituosos contribuiu para menores valores de lixiviação de potássio e condutividade elétrica (Tabelas 6 e 7), o que evidencia as observações feitas por Pereira (1997), Giranda (1998), Lopez (2000) e Coelho (2000).

As análises sensoriais observadas nas Tabelas 6 e 7 indicaram que tanto para a secagem que usou lenha como para a secagem que usou GLP, o café não apresentou diferenças na análise sensorial estando coerente com as análises químicas. Esperava-se que, com a retirada dos defeitos que, a ocorresse uma melhora na classificação da análise sensorial. No entanto, esse comportamento não foi observado. Isso, possivelmente, pode ter ocorrido em função de a qualidade já estar prejudicada, devido à matéria-prima utilizada.

As Tabelas 8, 9 e 10 apresentam as características físicas, químicas e sensoriais do café, referentes ao teste 2.

No teste 2, a maior umidade final na secagem à lenha foi a única diferença estatística observada (Tabela 8). Essa diferença não está relacionada com o tipo de combustível usado na secagem, como já discutido no teste 1.

TABELA 8 Valores médios de número de defeitos, número de grãos verdes, pretos, ardidos e manchados e umidade em %b.u. das amostras do teste 2

Análise física						
Secagem	Equivalência em defeitos	Número de grãos verdes	Número de grãos pretos	Número de grãos ardidos	Número de grãos Manchados	Umidade
<b>GLP</b>	102 a	121,66 a	1,33 a	38,00 a	372 a	9,8607 a
<b>LENHA</b>	86 a	180 a	0,00 a	55,33 a	404 a	10,16 b
<b>C.V.(%)</b>	20,18	47,6	70,02	45,08	4,77	0,89

Médias seguidas das mesmas letras na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tuckey, a 5% de probabilidade.

TABELA 9 Valores médios de acidez titulável total, lixiviação de potássio condutividade elétrica e prova de xícara para as secagens do teste 2, com a presença de defeitos

Análises química e sensorial				
Secagem	A. T.T. ( ml NaOH 0,1N. 100g)	L.K. (ppm)	C.E. ( $\mu\text{S.cm}^{-1}.\text{g}^{-1}$ )	Prova de xícara
<b>GLP</b>	241,6 a	85,05a	218,49a	DURA
<b>LENHA</b>	258,33a	80,18a	211,6a	DURA
<b>C.V.(%)</b>	4,22	8,06	3,09	

Médias seguidas das mesmas letras na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tuckey, a 5% de probabilidade.

TABELA 10 Valores médios de acidez titulável total, lixiviação de potássio condutividade elétrica e prova de xícara para as secagens do teste 2, sem a presença de defeitos

Análises químicas				
Secagem	A. T.T. (ml NaOH 0,1 N)	L.K. (ppm)	C.E. ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ )	Prova de xícara
GLP	208,33 <sup>a</sup>	53,72a	162,03a	DURA
LENHA	216,66 <sup>a</sup>	47,38a	151,46a	DURA
C.V.(%)	6,79	10,03	3,47	

Médias seguidas das mesmas letras na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tuckey a 5% de probabilidade.

Os resultados da prova de xícara foram semelhantes aos do teste 1, no qual a bebida foi classificada como dura, tanto para a secagem que usou GLP como para a secagem que usou lenha. Este fato indica que as variações de temperaturas e as menores temperaturas médias observadas na secagem à lenha observadas no item 4.1 não influenciaram na análise sensorial. Resultado semelhante foi obtido por Sobrinho et al. (2001) que, estudando sistemas de secagem com aquecimento do ar em vapor de água, lenha de eucalipto e GLP, concluíram que a bebida e o tipo do café não são influenciados pelo tipo de combustível usado para o aquecimento do ar de secagem.

Os valores encontrados para acidez titulável total, lixiviação de potássio e condutividade elétrica nas Tabelas 9 e 10 não diferiram estaticamente entre as secagens, confirmando os resultados do teste 1.

Os valores encontrados no teste 1 e 2 para condutividade elétrica e acidez titulável total estão dentro da faixa dos valores encontrados por Chagas (1994) e Barrios (2001), que caracterizaram os cafés do Sul de Minas.

Desta maneira, pode-se afirmar que o tipo de combustível usado na secagem não interferiu na qualidade do café, apesar de terem sido observadas

diferenças na distribuição de temperatura, temperatura máximas atingidas na massa de café e velocidade de remoção de água conforme discutido no item 4.1.

## **4.5 Avaliação econômica**

### **4.5.1 Custo de combustível**

Os resultados de tempo de secagem e custo do combustível por água removida e custo do combustível na secagem por saca beneficiada são apresentados na Tabela 11.

Ressalte-se que os preços praticados para o GLP e para lenha exercem grande influência nos resultados do custo de combustível, e que os valores de custo de combustível obtidos neste teste se aplicam aos preços de R\$ 1,00/kg de GLP e R\$ 15,00/m<sup>3</sup> de lenha. Valores praticados no Sul de Minas em junho de 2001.

O valor do custo de combustível por unidade de água removida tanto no teste 1 como no teste 2, foi 4,5 vezes maior para a secagem com GLP do que para a secagem com lenha.

Observa-se também um custo de combustível por saca beneficiada mais elevado para a secagem com GLP, chegando a ser, em média, 5 vezes maior do que a secagem que usou lenha como combustível em ambos os testes.

Relações entre custo de combustível de GLP e lenha foram relatadas por Reinato et al. (2001) entretanto avaliando o custo de secagem em diversas propriedades no Sul de Minas, encontraram, em média, um custo por kg de água removida 4 vezes maior para as secagens que usaram lenha.

TABELA 11 Custo de combustível por kg de água removida e por saca beneficiada dos testes 1 e 2.

Testes	Secagem	Umidade % (b.u.)		Tempo (horas)			Consumo de combustível			Temperatura. Do ar (°C)		n.º de scs.	Custo de combustível		
		Inicial	Final	Secag	Repo- uso	Total	Lenha (m³)	Lenha (kg)	kg de GLP	Sec	Amb		Total (R\$)	R\$/H <sub>2</sub> O	R\$/scs
1	Lenha	30,83	11,90	15,58	9,00	24,58	0,97	542,00	-	71,09	22,00	14,17	19,44	0,04	1,37
	GLP	30,83	11,78	12,58	9,00	21,58	-	-	86,91	80,50	22,00	14,23	86,91	0,16	6,11
2	Lenha	32,26	10,79	14,25	9,00	23,25	0,84	458,50	-	73,48	24,74	14,04	16,80	0,03	1,20
	GLP	32,26	10,27	11,91	9,00	20,91	-	-	93,61	86,14	24,74	13,84	93,61	0,16	6,76

Apesar de alguns trabalhos usarem apenas o custo de combustível para a avaliação econômica de sistemas de secagem (Garcia, 1998; Reinato et al., 2001), ressalta-se que o custo de combustível é apenas um componente do custo total. Além disso a análise apenas do custo de combustível é, uma análise imediatista e, muitas vezes, decisões para a implantação de novos sistemas de secagem podem ser equivocadas, quando a análise é feita apenas por este componente. Portanto, é necessário o conhecimento do custo total de secagem.

#### 4.5.2 Custo total

Os custos de combustível, mão-de-obra, depreciação, energia elétrica e o custo total da secagem em secadores rotativos são apresentados na Tabela 12, para os testes 1 e 2.

TABELA 12 Valores em R\$/saca de 60,5kg dos custos de combustível, mão de obra, depreciação, energia elétrica e total para os teste 1 e 2

CUSTOS	Teste1		Teste2	
	Lenha	GLP	Lenha	GLP
<b>COMBUSTÍVEL</b>	1,37	6,11	1,20	6,76
<b>MÃO-DE-OBRA</b>	3,79	1,27	3,98	1,24
<b>DEPRECIÇÃO</b>	2,52	0,34	2,60	0,34
<b>ENERGIA ELÉTRICA</b>	0,58	0,47	0,61	0,46
<b>TOTAL</b>	<b>8,26</b>	<b>8,18</b>	<b>8,40</b>	<b>8,80</b>

Os valores do custo total se aplicam às condições experimentais e aos preços praticados em julho de 2001. Portanto, a escala dos valores de custo total pode alterar para condições experimentais diferentes das estabelecidas para estes testes.

Nos testes 1 e 2, os custos de combustível para os tratamentos que usaram GLP representam 74,69% e 76,81% do custo total de secagem. Já participação do custo do combustível nas secagens com lenha representam respectivamente, 16,58% e 14,28% do custo total da secagem.

Esse menor custo de combustível para lenha também foi evidenciado por Sobrinho et al. (2000). Estes autores, analisando sistemas de aquecimento do ar pela queima de GLP, lenha de eucalipto e palha de café, verificaram que a operação realizada com GLP apresentou um maior custo de combustível.

Muitas vezes, a decisão de optar por um sistema de aquecimento do ar é feita apenas baseada no custo do combustível não levando em conta outros custos, que podem levar à escolha de sistemas de custos mais elevados.

Apesar da secagem feita com GLP apresentar custos mais elevados de combustível do que os tratamentos com lenha, nos testes 1 e 2 observa-se que, quando os custos como mão-de-obra, depreciação e energia elétrica são computadas, ocorre uma compensação.

Nos testes que usaram lenha, os itens mão-de-obra e depreciação possuem custos mais elevados quando comparados com os testes que usaram GLP.

O maior custo de depreciação para os testes que usaram lenha como combustível se deve ao fato da vida útil da fomalha ser menor do que a do queimador. De acordo com o fabricante, a vida útil de uma fomalha é de 6 anos, possuindo um valor de sucata de R\$1.500,00 ao fim de sua vida útil. Já o queimador possui uma vida útil de 20 anos e um valor de sucata de R\$750,00.

A vida útil da fomalha ou do queimador pode variar de proprietário para proprietário, dependendo dos cuidados tomados.

O custo de energia elétrica é proporcional ao tempo de funcionamento do secador. Observam-se, portanto, maiores custos de energia elétrica nas secagens que usaram lenha como combustível, pois, tanto no teste 1

como no teste 2, os maiores tempos de secagem referem-se às secagens que usaram lenha.

O custo de mão-de-obra nos testes 1 e 2 para os que usaram lenha representaram, respectivamente, 45,58% e 47,38% do custo total de secagem.

Para a quantificação do custo de mão-de-obra, estabeleceu-se que, para se fazer o manejo de um sistema composto por um secador e um queimador, necessita-se de 0,625 dia/homem. Já num sistema operando com um secador e uma fomalha, é necessário 1,5 dia/homem. Esta relação foi estabelecida pela quantificação das horas trabalhadas nos testes de secagem.

No teste 2, apesar dos valores de custo total das secagens que usaram GLP e lenha estarem bem próximos, a secagem que fez uso do GLP teve seu custo total R\$ 0,40 mais elevado do que a secagem que usou lenha. Essa diferença pode ser explicada pela secagem excessiva do café no teste com GLP, resultando em umidade final mais baixa do que a unidade final encontrada na secagem que fez uso da lenha.

Em relação aos custos totais, praticamente não há diferença entre os sistemas com a utilização de GLP ou lenha. Porém, outros benefícios indiretos podem conduzir a diferentes tomadas de decisão.

teste (2)

**4.6 Variações da temperatura do ar no plenum, temperatura e umidade da massa de café no sentido radial e longitudinal durante o teste que comparou a secagem do café com controle da temperatura da massa em duas posições diferente.**

Nos testes 1 e 2, durante toda a secagem, a temperatura registrada no termômetro bimetálico do secador não ultrapassou o valor de 45 °C. Esse critério é adotado por grande número de produtores. Entretanto, os valores observados na massa de café foram bem superiores a 45 °C, contrariando as recomendações técnicas. A partir dessa observação, decidiu-se realizar um teste em que em um dos secadores, as temperaturas da massa fossem realmente mantida em 45 °C e no outro secador a secagem fosse realizada seguindo as recomendações técnicas, ou seja, controle da temperatura da massa em 45 °C tomando-se como referência o termômetro bimetálico do secador.

Para uma melhor interpretação dos resultados, a secagem em que a temperatura da massa foi controlada utilizando-se o termômetro bimetálico foi denominada de GLP 3 (Figura 21). Já a secagem na qual a temperatura da massa foi controlada tomando-se como referência o termopar situado a uma profundidade de 355 mm a partir da chapa perfurada foi denominada de GLP 45 (Figura 20).

Nota-se que os valores de temperatura no plenum apresentam uma maior oscilação na secagem GLP 45 (Figura 21) comparativamente à secagem GLP 3 (Figura 20).

Na secagem GLP 45, o valor de 45% estabelecido como limite era registrado pelo termopar situado a 355 mm de profundidade, sendo atingido rapidamente. Para que essa temperatura não fosse ultrapassada, a regulagem do queimador foi alterada constantemente, causa essa das oscilações de temperatura observadas no plenum na secagem GLP 45

Na secagem GLP 3, a regulagem foi alterada apenas nas horas finais de secagem. Foi somente neste momento que a temperatura do termômetro bimetalico atingiu valores próximos a 45 °C.

Na secagem GLP 45 (Figura 21), o menor valor de temperatura dentro do plenum foi de 39 °C e o valor máximo de 91 °C. Já na secagem GLP3, o valor mínimo registrado dentro do plenum foi de 53 °C e o valor máximo foi de 97 °C, (Figura 20). Nota-se que os valores máximos, tanto na secagem GLP 3 como na secagem GLP45 para as temperaturas do ar do plenum, foram registradas na seção 1. Isso ocorreu em função da seção 1 ser a primeira a receber o ar aquecido.

Na secagem GLP 45, durante as 4 horas finais da secagem, a temperatura do ar dentro do plenum ficou bem próxima da temperatura da massa, ou seja, 45 °C. Nesse momento, o calor do ar de secagem era praticamente usado para o aquecimento do café.

Tanto as oscilações na temperatura como os valores máximos atingidos na massa seguiram as variações ocorridas no ar do plenum. Dessa maneira, a temperatura da massa de café atingiu valores mais elevados na secagem GLP 3, sendo registrados valores de até 66 °C na seção 2 do secador (Figura 20), um valor médio de 56 °C próximo ao plenum (profundidade 500 mm), 49 °C no centro do secador (profundidade 355 mm) e 43 °C próximo à exaustão (profundidade 210 mm).

Na secagem GLP 45, a temperatura máxima atingida pela massa de café foi de 58 °C na seção 2 do secador (Figura 21), e os valores médios na massa de café foram de 47 °C na profundidade 500 mm, 44 °C na profundidade 355 mm e 42 °C próximo à exaustão.

Foram observados gradientes de temperatura na massa de café máximos de 20 °C na secagem GLP 45 e de 40 °C nas secagens GLP 3. Menores

gradientes de temperatura na secagem GLP 45 comparativamente à secagem GLP3 podem estar relacionado a temperaturas do ar de secagem mais amenas na secagem GLP 45.

Igualmente aos testes 1 e 2, os maiores gradientes de temperatura na massa de café, tanto na secagem GLP 3 como na secagem GLP 45, localizaram-se na seção 2 do secador. Este fato já foi discutido nos testes anteriores.

Mesmo que a temperatura registrada no termômetro bimetalico durante a secagem não tenha ultrapassado os 45 °C, em determinados pontos a temperatura no meio da massa (profundidade 355 mm) atingiu valores de até 63 °C.

Estas observações indicam que a temperatura registrada no termômetro bimetalico do secador não representa a real temperatura da massa. Além disso, a maioria dos produtores que seguem a recomendação técnica de não ultrapassar os 45°C no termômetro bimetalico secam seus cafés com temperaturas superiores a 45°C.

Os gradientes de umidade na secagem GLP 45 praticamente não existiram. Já na secagem GLP 3, apesar do gradiente ter desaparecido após o repouso, ocorreram gradientes de até 2 pontos percentuais, o qual foi observado na seção 2 no início da secagem.

Igualmente aos testes anteriores, os maiores gradientes de umidade ocorreram na seção 2.

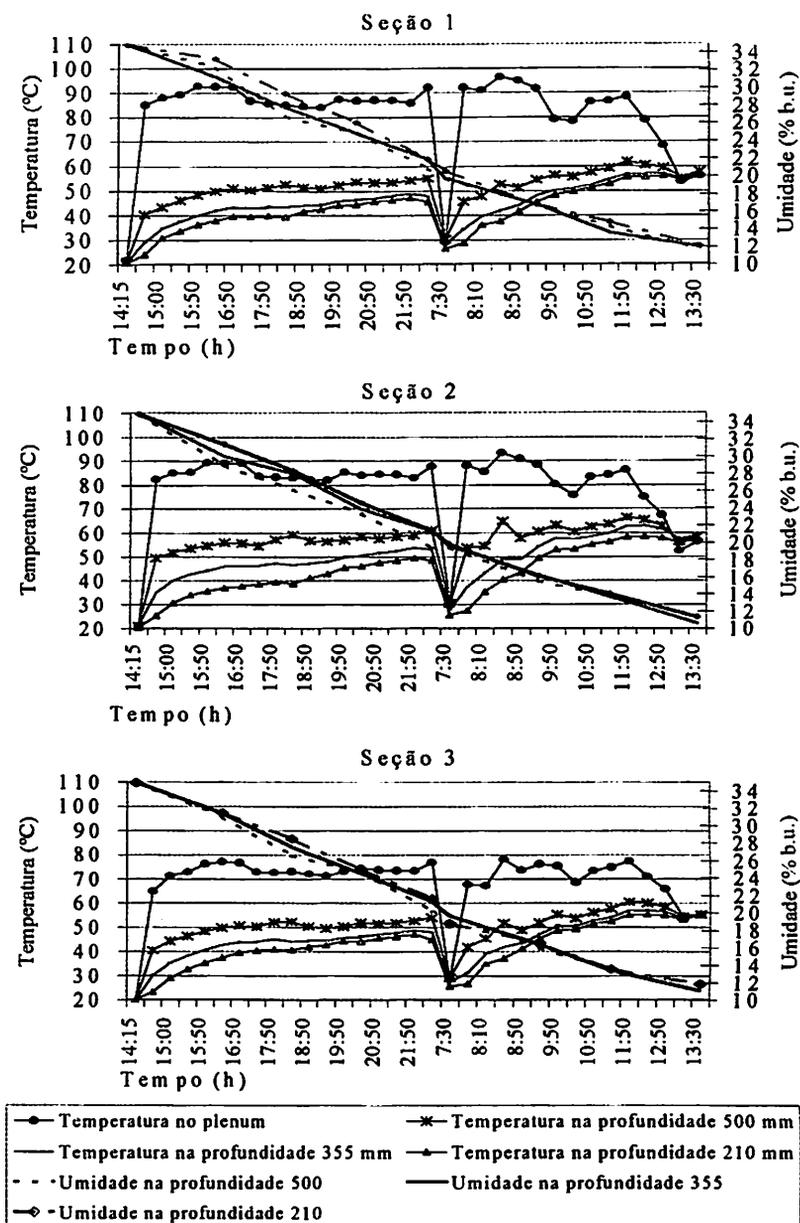
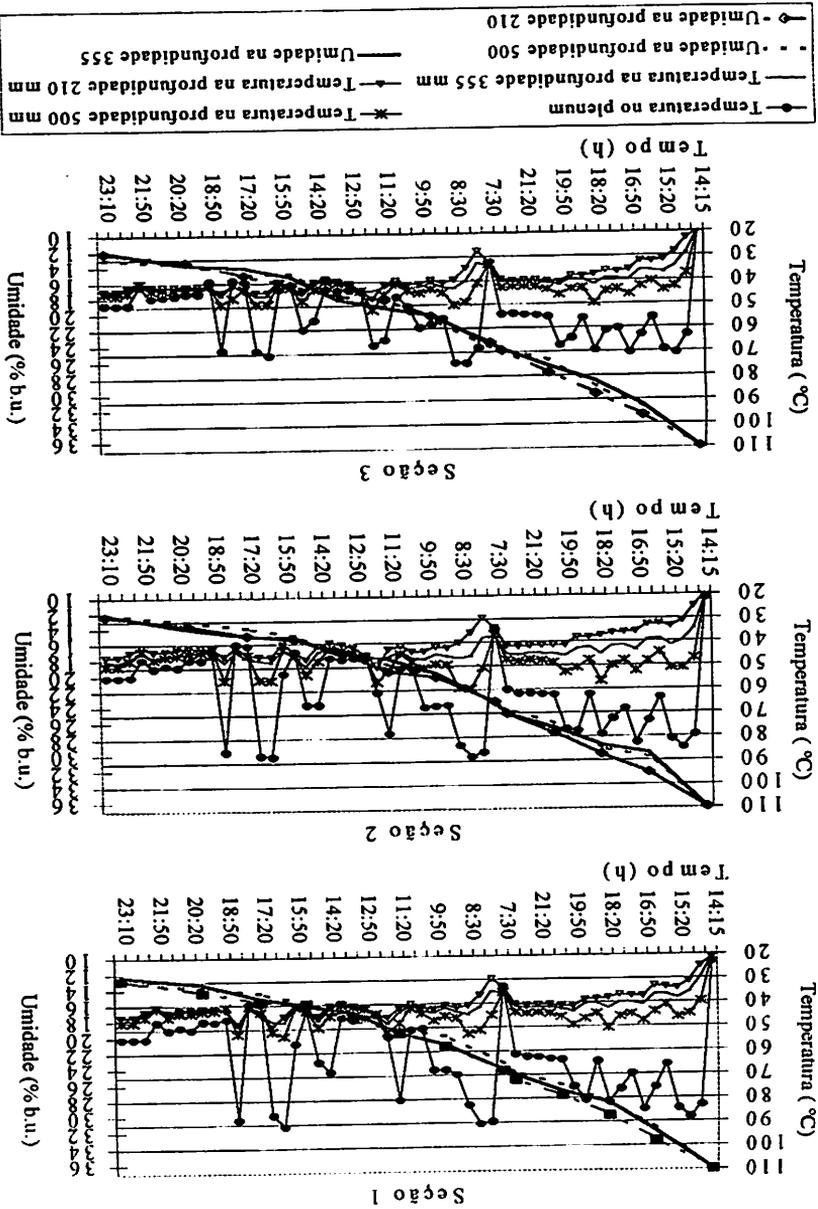
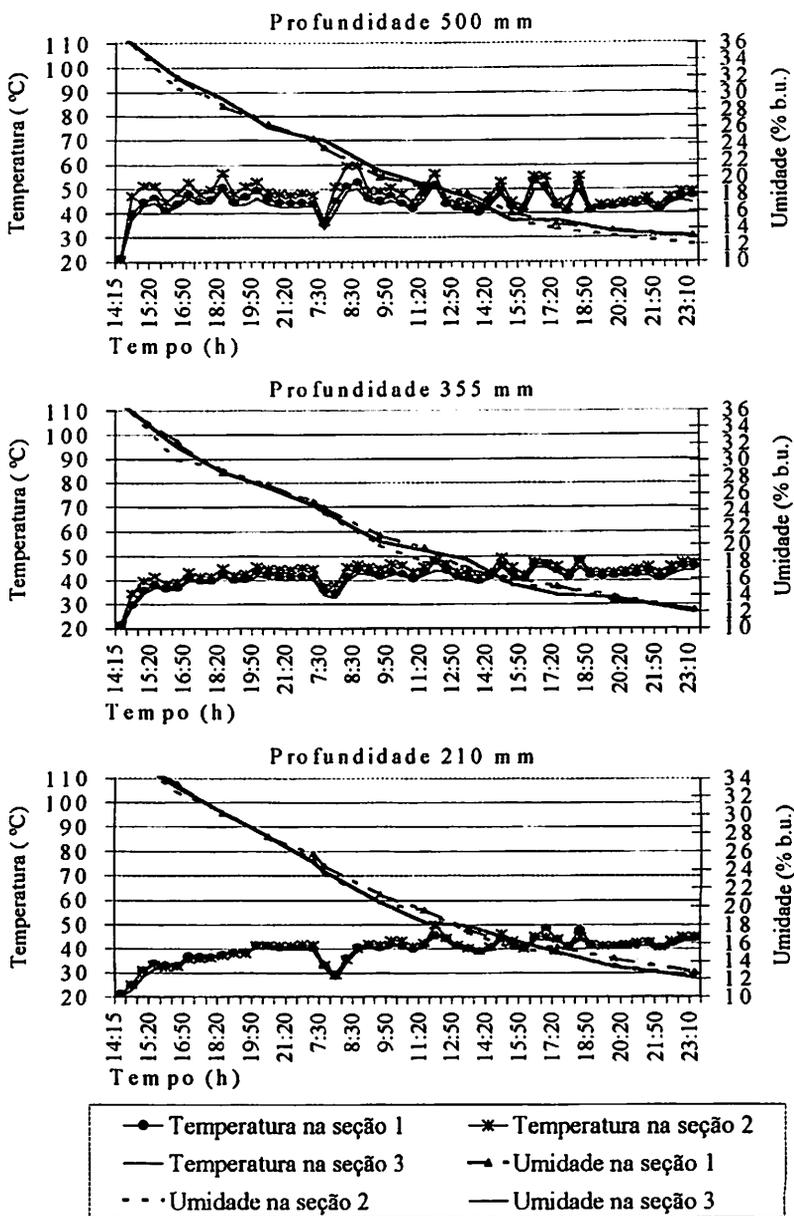


FIGURA 20 Variações de temperatura do ar do plenum, temperatura da massa e umidade do café no sentido radial em três seções na secagem em que a temperatura foi controlada por meio do termômetro bimetálico no terceiro teste.

FIGURA 21 Variações de temperatura do ar do plenium, da massa e umidade do café no sentido radial em três seções na secagem em que a temperatura foi controlada por meio do termopar situado no meio do secador no terceiro teste.

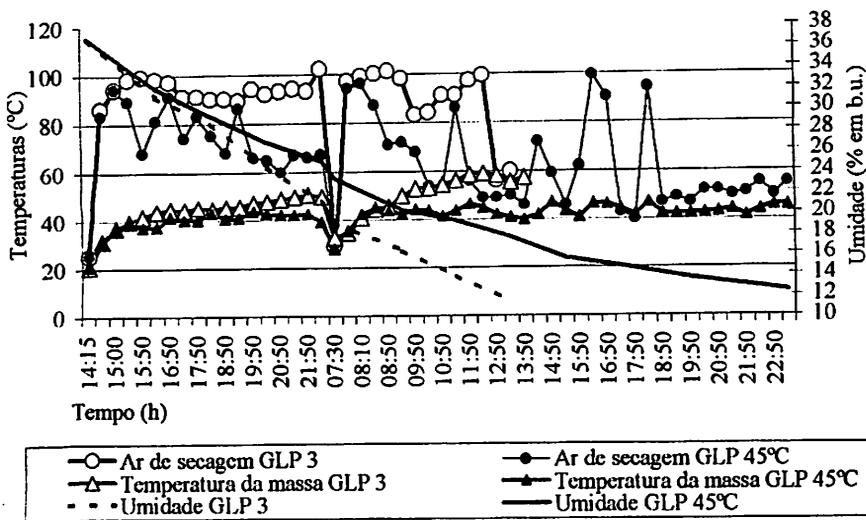




**FIGURA 23** Variações da temperatura e umidade da massa de café no sentido longitudinal, nas três seções, no terceiro teste para a secagem em que o controle de temperatura foi feito por meio de um termopar situado no meio do secador.

**4.7 Variações médias da temperatura do ar de secagem, temperatura e umidade da massa de café durante os testes que compararam secagens, onde o controle de temperatura foi realizado por meio de medições da temperatura da massa em duas posições diferentes**

Os valores médios da temperatura do ar de secagem, temperatura da massa e do teor de água do café do terceiro teste, são apresentados na Figura 24



**FIGURA 24** Valores médios da temperatura do ar de secagem , da temperatura da massa e do teor de água do café no terceiro teste.

Na secagem GLP 45, em que o controle da temperatura da massa foi realizado por um termopar situado no meio do secador, verificou-se a ocorrência de variações na temperatura do ar de secagem. Tais variações ocorreram em

função da necessidade de se controlar a temperatura da massa em 45 °C.

Observou-se que, na secagem GLP 3, em que a temperatura foi mantida em 45 °C, tomando-se como referência o termômetro bimetalico, a temperatura da massa de café em determinadas posições atingiu 60 °C. Isso revela que a temperatura registrada no termômetro bimetalico não representa toda a massa de café.

Observa-se um crescente aumento da temperatura da massa na secagem GLP3. Na secagem GLP45, nota-se que ocorreram variações na temperatura da massa e estas estão relacionadas com as oscilações do ar de secagem, não ultrapassando, no entanto, o valor de 45 °C.

A partir da 4ª hora de secagem, a perda de umidade tornou-se mais rápido para a secagem GLP3, provavelmente em função da ocorrência de maiores temperaturas na massa do café. A ocorrência de maiores temperaturas do ar de secagem, da massa de café, foi responsável por menor tempo na secagem GLP3.

Silva (1991), Cordeiro (1982), Osório (1982) Castro (1991), Guida (1994) e Octaviani (2000) também observaram uma redução do tempo de secagem com o aumento das temperaturas do ar de secagem e da massa de café.

#### **4.8 Avaliação Energética**

Os resultados da avaliação do desempenho dos secadores do teste 3 são apresentados na Tabela 13. Por estes resultados, observa-se que o conteúdo de umidade inicial foi igual para ambas as secagens. No entanto, a umidade final foi 1 ponto percentual maior para a secagem GLP 45. Esta pequena diferença entre as umidades finais pode ter favorecido um pequeno acréscimo no consumo de combustível e energia na secagem GLP 3.

As temperaturas médias do ar de secagem foram menores que 24°C para

a secagem em que o controle de temperatura foi feito pelo termopar situado no meio do secador (GLP 45).

Em relação à temperatura e umidade do ar ambiente nota-se que as diferenças foram pequenas, sendo consideradas praticamente iguais.

Os valores de pressão estática apresentados na Tabela 13 são valores médios, da mesma forma que os valores encontrados nos demais testes.

Observa-se que houve um tempo de secagem quase 9 horas maior para a secagem GLP 45. Esse maior tempo de secagem ocorreu em função de menores temperaturas do ar de secagem empregadas na secagem GLP 45.

O consumo específico de energia para as secagens GLP 3 foi menor em comparação com a secagem GLP 45. Houve também maior eficiência de secagem no teste GLP 3 (50,58 %) comparada com a secagem GLP 45 (36,45%).

Maiores valores de eficiência de secagem e menores valores de consumo específico de energia na secagem GLP3 ocorreram em função de temperaturas médias mais elevadas do ar de secagem, caracteriza-se assim, a influência da temperatura do ar de secagem na eficiência da secagem.

Osório (1982) e Silva (1991), estudando a secagem do café cereja em secadores de fluxos concorrentes e contracorrentes, respectivamente e utilizando temperaturas do ar de secagem superiores a 60 °C, também constataram uma relação positiva entre eficiência de secagem e temperatura do ar de secagem.

**TABELA 13** Resultado experimental da avaliação energética do sistema

Parâmetros:	Teste 3	
	GLP 3	GLP 45
1) Do produto		
Teor de umidade inicial (% b.u.)	36,93	36,93
Teor de umidade final (% b.u.)	11,32	12,38
Massa específica aparente inicial(kg.m <sup>-3</sup> )	484,47	485,35
Massa específica aparente final (kg.m <sup>-3</sup> )	417,33	425,86
Massa inicial (kg)	2480,50	2485,00
Massa final (kg)	1764,05	1788,63
2) Do ar		
Temperatura de secagem (°C)	89,42	65,75
Temperatura ambiente (°C)	20,25	20,58
Umidade relativa ambiente (%)	49,57	48,86
3) Do secador		
Vazão de ar (m <sup>3</sup> .min <sup>-1</sup> )	80,02	78,29
Densidade de fluxo de ar (m <sup>3</sup> .min <sup>-3</sup> .m <sup>-2</sup> )	19,05	17,40
Espessura da camada(m)	0,63	0,63
Área de secagem (m <sup>2</sup> )	4,20	4,50
Pressão estática (mm.c.a.)	4,00	4,00
4) Da energia		
Tipo de combustível	GLP	GLP
Massa de combustível ( kg)	85,02	106,55
Poder calorífico inferior (kJ.kg <sup>-1</sup> )	49191,38	49191,38
Energia elétrica (kWh.)	44,38	72,85
5) Do desempenho		
Duração do teste (horas).	23,00	31,91
Redução de umidade (%b.u.)	25,61	24,55
Consumo específico real(kJ.kg <sup>-1</sup> )		
Com energia elétrica (kJ.kg <sup>-1</sup> )	6060,44	7903,22
Sem energia elétrica (kJ.kg <sup>-1</sup> )	5837,44	7526,63
Eficiência de secagem (%)	50,58	36,45

#### 4.9 Avaliação qualitativa

As Tabelas 14, 15 e 16 indicam as características físicas, químicas e sensoriais do café, referentes às secagens do teste 3.

TABELA 14 Valores médios de número de defeitos, número de grãos verde, preto, ardido e manchado e umidade em % b.u. das amostras do teste 3.

Análise física						
Secagem	Equivalência em defeitos	Número de grãos verdes	Número de grãos pretos	Número de grãos ardidos	Número de grãos manchados	Umidade
GLP 45°C	80 a	104 a	4,00 a	32,67 a	339,66 a	10,665 a
GLP3	106 a	153,33 a	3,67 a	48,00 a	448,66 b	9,833 b
C.V.(%)	23,13	21,15	49,95	53,67	7,91	0,97

Médias seguidas das mesmas letras na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tuckey, a 5 % de probabilidade.

TABELA 15 Valores médios de acidez titulável total, lixiviação de potássio condutividade elétrica e prova de xícara para as secagens do teste 3, com a presença de defeitos

Análises química e sensorial				
Secagem	A. T.T. (ml NaOH 0,1N .100g)	L.K. (ppm)	C.E. ( $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$ )	Prova de xícara
GLP 45°C	250 a	38,49a	107,45a	DURA
GLP3	258,33a	71,52 b	182,67b	DURA
C.V.(%)	4,02	6,96	7,66	

Médias seguidas das mesmas letras na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tuckey, a 5 % de probabilidade.

TABELA 16 Valores médios de acidez titulável total, lixiviação de potássio condutividade elétrica e prova de xícara para as secagens do teste 3, sem a presença de defeitos

Análises químicas				
Secagem	A. T.T. (ml NaOH 0,1N 100g)	L.K. (ppm)	C.E. ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ )	Prova de xícara
GLP 45°C	216,67 <sup>a</sup>	30,39 <sup>a</sup>	99,89a	AP.MOLE
GLP3	225,00 <sup>a</sup>	54,77b	156,56b	DURA
C.V.(%)	4,62	5,63	5,67	

Médias seguidas das mesmas letras na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tuckey, a 5 % de probabilidade.

Na Tabela 14, observa-se que não houve diferenças estatísticas ( $P < 0,05$ ) entre o número de defeitos, o número de grãos verdes, ardidos e pretos. No entanto, verifica-se diferença significativa ( $P < 0,05$ ) no que diz respeito à umidade final e ao número de grãos manchados. A umidade final foi maior para a secagem em que o controle de temperatura foi realizado tomando-se como referência o termopar situado no meio da massa de café, e o número de grãos manchados foi maior na secagem em que o monitoramento da temperatura da massa de café foi feito pelo termômetro bi metálico.

Segundo Castro (1991) e Guida (1994), a utilização de maiores temperaturas do ar de secagem podem comprometer o aspecto do café, principalmente no que diz respeito ao aparecimento de manchas no café.

Maior número de grãos manchados podem ser atribuídos a maiores temperaturas ocorridas na secagem GLP3. Isso porque maiores temperaturas do ar de secagem resultam em maiores temperaturas da massa de café e, conseqüentemente, maiores taxas de secagem. Esta, por sua vez, esta relacionada com a presença de manchas no café.

As secagens estudadas no teste 3 apresentaram diferenças significativas ( $P < 0,05$ ) quanto à acidez titulável total dos grãos com a presença de defeitos,

(Tabela 15). No entanto, quando se observou o valor da acidez titulável total com a retirada dos defeitos (Tabela 16), não ocorreram diferenças. Dessa maneira, a diferença estatística existente entre as secagens estaria mais relacionada com a presença dos grãos defeituosos, que foi de 80 para o GLP 45 e 106 para GLP3, do que o processo de secagem.

No caso da condutividade elétrica e lixiviação de potássio, observa-se, nas Tabelas 15 e 16, que tanto com a presença de defeitos, como na ausência de defeitos, ocorreram diferenças estatísticas entre as secagens.

Os maiores valores de condutividade elétrica e a lixiviação de potássio foram observados na secagem em que o controle de temperatura foi feito no termômetro bimetálico (GLP 3), ou seja, na secagem onde ocorreram temperaturas mais elevadas na massa de grãos. Segundo Amorim & Teixeira (1975), fatores externos, como temperatura e injúrias, podem alterar a estrutura das membranas celulares, resultando em maiores valores de lixiviação de potássio. O potássio, por sua vez, é um íon e, uma vez lixiviado contribui para o aumento da condutividade elétrica. Dessa maneira, possivelmente, maiores valores de condutividade elétrica e a lixiviação de potássio ocorreram em função da degradação das membranas, ocasionadas por maiores temperaturas na massa de café (60 °C).

Nas Tabelas 14 e 16, observa-se que a retirada de defeitos resultou em menores valores de condutividade elétrica e lixiviação de potássio. Esses resultados são compatíveis com os observados por Pereira (1997) e Coelho (2000). Estes autores estudando a inclusão de defeitos, observaram que ocorre um decréscimo nos valores de condutividade elétrica e lixiviação de potássio com a adição dos defeitos verdes, pretos e ardido.

Observa-se nos resultados da prova de xícara (Tabelas 15 e 16) quando o café foi degustado com a presença de defeitos, tanto na secagem GLP 3

como na secagem GLP45, que a bebida foi classificada como dura. No entanto, com a retirada dos defeitos, a análise sensorial diferiu-se, sendo classificada como dura na secagem GLP3 e como apenas mole na secagem GLP45. Estas diferenças podem ter acontecido em função de maiores taxas de secagem e maiores temperaturas na do ar e da massa de café na secagem GLP3. Os resultados da análise sensorial foram coerentes com as análises químicas e físicas realizadas entre as secagens do teste 3.

Deve-se ressaltar que a maioria dos produtores realiza o controle de temperatura da massa do café, tomando como referência o termômetro bimetálico do secador, o que pode estar interferindo negativamente na qualidade final do café.

#### **4.10 Avaliação econômica**

##### **4.10.1 Custo de combustível**

Observa-se, na Tabela 17, que tanto o custo por kg de água removida como o custo por saca beneficiada foram maiores na secagem em que o controle de temperatura foi realizado no meio da massa de café (GLP 3).

A temperatura média no ar de entrada teve valores de 65,75°C na secagem GLP 45 e de 89,42°C na secagem GLP 3.

Maiores valores de temperatura no ar de secagem resultaram em maiores temperaturas na massa de café, maior velocidade de perda de umidade, menor consumo de combustível e, conseqüentemente menores custos de combustível.

Do ponto de vista econômico, maior temperaturas do ar de secagem resultam em menores gastos com combustível. Essa observação diverge das recomendações do IBC-GERCA (1985) e confirmam as observações de Silva et al (1992) e Vieira (1994).

.O IBC/GERCA (1985), sem especificar o tipo de secador, sugere a temperatura de 65° à 70 °C na entrada do ar, não devendo ultrapassar 80 °C, sob o ponto de vista econômico.

Silva et al (1992) e Vieira (1984) observaram que temperaturas de 100 °C no ar de entrada corresponderam aos menores tempos de secagem e consumo de combustível.

TABELA 17 Custo de combustível por kg de água removida e por saca beneficiada do teste 3.

Testes	Secagem	Umidade % (b.u.)		Tempo (horas)			Consumo de combustível kg de (GLP)	Temp. do ar (°C)		n.º de sacas.	Custo de combustível		
		Inicial	Final	Seca g	Repouso	Total		Secag	Amb.		Total (R\$)	R\$/H <sub>2</sub> O	R\$/scs
3	GLP 3	36,93	11,32	13,50	9,50	23,00	85,02	89,42	20,25	13,20	85,02	0,14	6,44
	GLP 45	36,93	12,38	22,41	9,50	31,91	106,55	65,75	20,58	13,49	106,55	0,18	7,90

#### 4.10.2 Custo total

Na Tabela 18 são apresentados os valores do custo total, custo de combustível, custo de depreciação e custo de energia elétrica para o teste 3.

No teste 3, observou-se um maior custo total na secagem GLP 45. Esse valor foi elevado devido à baixa temperatura do ar de secagem, que resultou em elevados tempos de secagem e maiores gastos com combustível.

TABELA 18 Valores dos custos de combustível, mão de obra, depreciação, energia elétrica e total para o teste 3.

CUSTOS	Teste3	
	GLP3	GLP 45
COMBUSTIVEL	6,44	7,90
MÃO DE OBRA	1,47	2,38
DEPRECIÇÃO	0,38	0,50
ENERGIA ELÉTRICA	0,54	0,88
TOTAL	8,83	11,66

Nota-se ainda que o maior custo de energia elétrica é o do tratamento GLP 45. Isso é explicado por ter sido a secagem que demandou maior tempo.

Desta maneira, do ponto de vista econômico, o manejo utilizado na secagem do café exerce grande influência no custo total de secagem, confirmando observações obtidas por Reinato et al. (2001).

Quando se analisa o custo relacionando com a qualidade final, observa-se uma qualidade inferior na secagem de menor custo total.

Segundo o Departamento de Comercialização da Cooperativa de Cafeicultores de Varginha, a média histórica da diferença do preço de uma saca

de 60,5 kg de café bebida apenas mole, também denominada em algumas cooperativas de bebida dura para melhor, é de 10 % a mais do valor pago em um café classificado como bebida dura. Dessa maneira, com o preço atual de mercado de R\$ 104,00 por saca de café bebida dura, a diferença é de R\$ 10,40.

Em uma análise de custo e benefício, o ganho de qualidade por saca beneficiada em uma secagem GLP 45 é maior que a diferença existente entre o custo total de secagem que é de R\$ 2,86. Portanto, do ponto de vista econômico, recomenda-se o manejo adotado na secagem GLP 45, apesar desta apresentar maior custo total por saca beneficiada.

Porém, deve-se ressaltar que a qualidade do café pode ser influenciada por outros fatores, como a matéria-prima, o rebeneficiamento e outros.

4.11 **Variações da temperatura do ar no plenum, temperatura e umidade da massa de café no sentido radial e longitudinal durante os testes que compararam o funcionamento do queimador operando com chama de maneira contínua e intermitente.**

As variações ocorridas na temperatura do ar do plenum, na temperatura e umidade da massa de café, no sentido radial, nas três seções do secador no quarto teste que comparou duas maneiras de funcionamento do queimador, são apresentadas nas Figuras 25 e 26.

Para melhor interpretação dos resultados, a secagem em que o queimador funcionou com a chama de maneira contínua foi denominada de secagem GLP contínuo e a secagem em que o queimador funcionou com chama de maneira intermitente foi denominada de secagem GLP intermitente.

Nota-se que os valores de temperatura no plenum apresentaram uma oscilação regular e constante na secagem GLP intermitente (Figura 26). Já na secagem GLP contínuo ocorreu uma constância da temperatura no plenum (Figura 25).

Na secagem GLP intermitente, quando a temperatura atingia 90 °C no ar de secagem, a chama era cortada automaticamente, só voltando a acender no momento em que o termostato registrava uma temperatura de 68 °C.

Essa oscilação no ar de entrada provocou a variação no ar do plenum, atingindo valores máximos de 79 °C e mínimos de 61 °C na seção 1, como pode ser observado na Figura 26.

Na secagem GLP contínuo, a temperatura do plenum atingiu valor médio de 83°C na seção 1, ao passo que na secagem GLP intermitente este valor foi de 67°C na seção 1.

Observa-se que os valores da temperatura da massa na secagem GLP intermitente não acompanhou as variações ocorridas na temperatura do ar no

plenum. Isso ocorreu porque as variações no plenum ocorrem em intervalos muito pequenos. O tempo em que a temperatura variava de 80 ° C a 60 ° C foi de 2 minutos e 15 segundos.

Desta maneira, a temperatura da massa de café atingiu valores mais elevados na secagem GLP contínuo, sendo registrados valores de até 75°C na seção 2 do secador (Figura 25), um valor médio de 62°C próximo ao plenum , 52°C no centro do secador (profundidade 355 mm) e 42°C próximo à exaustão (profundidade 210 mm). Na secagem GLP intermitente, foram registrados valores de até 66°C na seção 2, um valor médio de 58°C próximo ao plenum, 50°C no centro do secador e 43°C próximo à exaustão.

Devido a menores valores de temperatura no plenum e na massa de café, os gradientes de temperaturas na massa de café na secagem GLP intermitente foram menores quando comparados aos gradientes ocorridos nas secagens GLP contínuo.

Novamente, os maiores gradientes de umidade, tanto para a secagem GLP intermitente como para a secagem GLP contínuo, foram registradas na seção 2. Isso está relacionado à distribuição de ar do secador, como já foi discutido no teste 1.

Os gradientes de umidade seguiram o comportamento dos gradientes de temperatura. Desta maneira, a secagem GLP contínuo foi onde se constataram os maiores gradientes de umidade.

Os gradientes de umidade foram constantes e tiveram valores até 2 pontos percentuais na secagem GLP contínuo e de 1 a 2 pontos percentuais na secagem GLP intermitente.

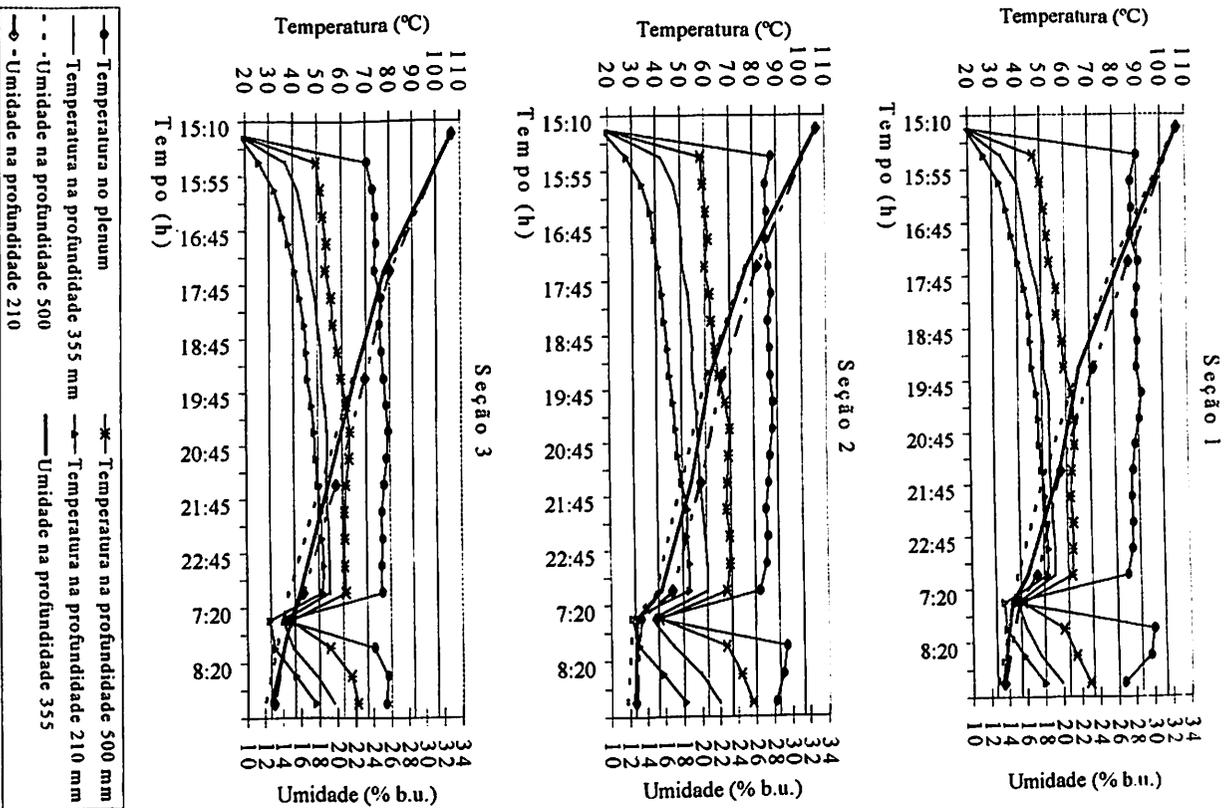
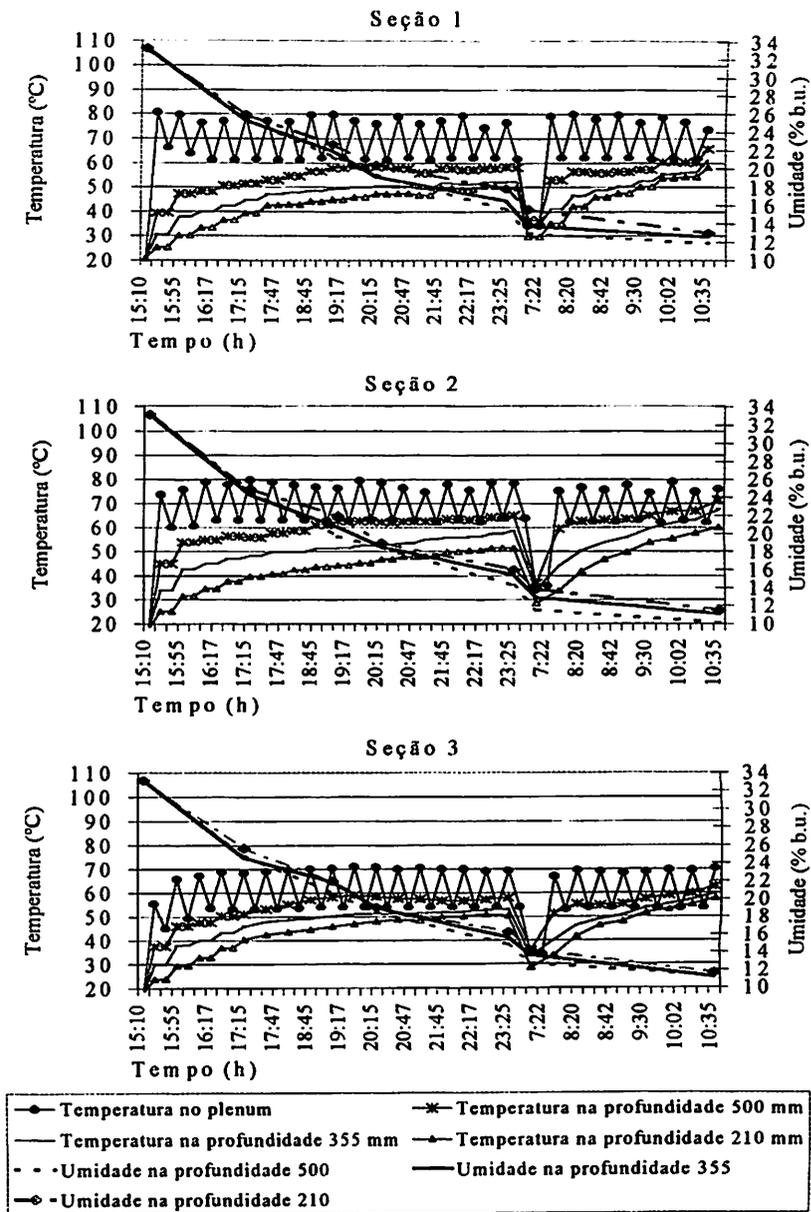


FIGURA 25 Variações de temperatura do ar do plenum, na temperatura e umidade da massa de café, no sentido radial, nas três seções, no quarto teste para a secagem em que a chama do queimador funcionou de maneira contínua.



**FIGURA 26** Variações de temperatura do ar do plenum, na temperatura e umidade da massa de café no sentido radial nas três seções no quarto teste para a secagem em que a chama do queimador funcionou de maneira intermitente.

As variações na temperatura e umidade da massa de café no sentido longitudinal em três profundidades (210 mm, 355 mm e 500 mm), no quarto teste que comparou o uso do queimador operando com chama contínua e intermitente, são apresentadas, respectivamente, nas Figuras 27 e 28.

Observa-se para a secagem GLP contínuo (Figura 27) gradientes de temperatura nas profundidades 500 mm e 355 mm, variando entre 5 e 10 °C. Esses gradientes foram provocados principalmente pelos pontos pertencentes à seção 2, devido à maior pressão estática ocorrida nesta seção.

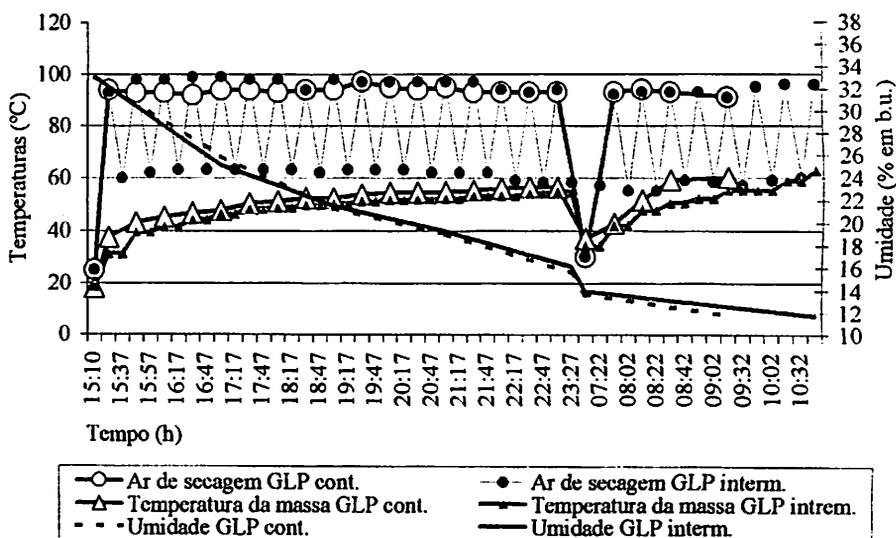
Na profundidade de 210 mm, localizada perto do ar de exaustão, não ocorreu gradiente de temperatura na massa de café.

Na secagem GLP intermitente, observam-se pequenos gradientes de temperatura na massa, na ordem de 5 a 8 °C na região localizada perto do plenum (profundidade 500 mm). Nas outras profundidades não ocorreram gradientes de temperatura na massa.

Quanto ao comportamento da umidade do café, observa-se, tanto na secagem GLP contínuo como na secagem GLP intermitente, que praticamente não ocorreram gradientes de umidade. Fica assim demonstrado que a maneira como a chama foi conduzida não interferiu na uniformidade de umidade dentro do secador.

**4.12 Variações médias da temperatura do ar de secagem, temperatura e umidade da massa de café durante os testes que compararam o funcionamento do queimador operando com chama de maneira contínua e intermitente.**

Na Figura 29 são apresentadas as curvas de secagem, de temperatura do ar de secagem e da massa referentes ao teste 4, composto pelas secagens GLP intermitente e GLP contínuo.



**FIGURA 29** Os valores médios da temperatura do ar de secagem, da temperatura da massa e do teor de água do café (Quarto teste).

Na secagem em que a chama do queimador funcionou de maneira intermitente, verificaram-se oscilações nas temperaturas do ar de secagem. A temperatura do ar de secagem para o teste GLP intermitente variou de 60 a 95 °C, ao passo que na secagem GLP contínuo, a temperatura foi mantida

95 °C, ao passo que na secagem GLP contínuo, a temperatura foi mantida em 93 °C constantemente.

No caso da secagem GLP intermitente, a temperatura da massa não seguiu o comportamento oscilatório do ar de secagem. Isso pode ter ocorrido devido às oscilações da temperatura do ar de secagem terem ocorrido em intervalos de tempo pequeno. O período em que a temperatura variava de 95° a 60 °C e retornava para valores de a 95 °C foi de dois minutos e trinta segundos.

Observa-se que, na Figura 29, as curvas de temperatura da massa, tanto para GLP intermitente quanto para GLP contínuo, mantiveram-se bem próximas até a realização do repouso. Após o repouso, verificou-se uma elevação mais rápida da temperatura da massa para a secagem GLP contínuo.

Nota-se que ocorreu uma semelhança entre os comportamentos das curvas de umidade e das curvas de temperatura da massa.

Maiores temperaturas da massa após o repouso na secagem GLP contínuo, resultou em maior velocidade de secagem, provocando um menor tempo final de secagem no teste GLP contínuo.

#### 4.13 Avaliação energética

Os resultados da avaliação de desempenho dos secadores do teste 4 são apresentados na Tabela 19.

Em relação ao conteúdo de umidade, ocorreu uma diferença de 0,68 pontos percentuais a mais da umidade final na secagem em que a chama foi mantida de maneira contínua. Essa diferença não foi relevante e não influenciou significativamente os resultados obtidos neste teste.

Os valores de pressão estática apresentados na Tabela 19 são valores médios, igualmente aos obtidos nos demais testes.

Observa-se que, mesmo a temperatura do ar de secagem

variando de 94 °C a 68 °C, a temperatura média do ar de secagem apresentou um valor médio 5,5°C menor que o valor médio obtido na secagem GLP contínuo. Deste modo, maiores temperaturas do ar de secagem podem ter contribuído para menores tempos na secagem GLP contínuo, conseqüentemente, menor consumo de combustível.

No entanto, dividindo-se o consumo de combustível pelo tempo efetivo de secagem, ou seja, descontando o tempo de repouso, obteve-se um consumo horário de combustível de 8,54 kg/h para a secagem GLP intermitente e 8,00 kg/h para a secagem GLP contínuo. Desta maneira, para um mesmo tempo de secagem, o consumo de GLP foi maior quando a chama funcionou de maneira intermitente. Assim, diferenças no consumo total de 3,97 kg a mais de GLP na secagem de GLP intermitente não podem ser atribuídas apenas a menores temperaturas do ar de secagem. Essas observações indicam um maior consumo de combustível para uma mesma temperatura média do ar de secagem quando a regulagem do queimador é mantida de maneira intermitente. Isso ocorre, pois, na secagem GLP intermitente, quando o sistema de ignição da chama é ligado e desligado, o fluxo de GLP não é interrompido imediatamente, provocando a passagem de pequenos fluxos de GLP sem sofrer combustão. O somatório dessas perdas de GLP ao longo da secagem provocou provavelmente um maior consumo total de combustível.

Menores consumos de combustível na secagem GLP contínuo provocaram menores valores de consumo específico de energia e, conseqüentemente, maiores valores de eficiência na secagem em que a chama foi mantida acesa constantemente.

Valores elevados de eficiência de secagem foram observados na secagem do teste 4, comparativamente aos demais testes. Esses valores ocorreram em função de condições climáticas que foram de umidade mais baixa e temperatura do ar ambiente mais elevada do que a dos demais testes.

TABELA 19 Resultado experimental da avaliação energética do sistema

Parâmetros:	Teste 4	
	GLP Intermitente	GLP Contínuo
<b>1) Do produto</b>		
Teor de umidade inicial (% b.u.)	33,11	33,11
Teor de umidade final (% b.u.)	11,60	12,08
Massa específica aparente inicial ( $\text{kg.m}^{-3}$ )	485,59	483,69
Massa específica aparente final ( $\text{kg.m}^{-3}$ )	421,11	423,46
Massa inicial (kg).	2457,10	2437,80
Massa final (kg).	1859,20	1854,75
<b>2) Do ar</b>		
Temperatura de secagem ( $^{\circ}\text{C}$ )	84,77	90,30
Temperatura ambiente ( $^{\circ}\text{C}$ )	25,40	25,36
Umidade relativa ambiente (%)	37,67	37,84
<b>3) Do secador</b>		
Vazão de ar ( $\text{m}^3.\text{min}^{-1}$ )	78,50	80,22
Densidade de fluxo de ar ( $\text{m}^3.\text{min}^{-3}.\text{m}^{-2}$ )	18,69	19,10
Espessura da camada(m)	0,63	0,63
Área de secagem ( $\text{m}^2$ )	4,20	4,20
Pressão estática (mm.c.a.)	4,00	4,00
<b>4) Da energia</b>		
Tipo de combustível	GLP	GLP
Massa de combustível ( kg)	92,27	78,30
Poder calorífico inferior ( $\text{kJ.kg}^{-1}$ )	49191,38	49191,38
Energia elétrica (kWh.)	37,70	30,51
<b>5) Do desempenho</b>		
Duração do teste (horas).	19,91	17,66
Redução de umidade (%b.u.)	21,51	21,03
Consumo específico real( $\text{kJ.kg}^{-1}$ )		
Com energia elétrica ( $\text{kJ.kg}^{-1}$ )	7818,33	6794,45
Sem energia elétrica ( $\text{kJ.kg}^{-1}$ )	7591,33	6606,06
Eficiência de secagem (%)	38,41	42,23

#### 4.14 Avaliação qualitativa

Os resultados das análises físicas, químicas e sensoriais são mostradas nas Tabelas 20, 21 e 22 para as secagens do teste 4.

Na Tabela 20 observa-se que não ocorreram diferenças estatísticas a 5% de probabilidade ( $P < 0,05$ ) em relação a nenhuma característica física entre as secagens que usaram o queimador com chama contínua e chama intermitente.

Quanto à acidez titulável total, não ocorreram diferenças estatísticas ( $P < 0,05$ ) nas análises realizadas com a presença de grãos defeituosos e nas análises realizadas com a retirada dos grãos defeituosos. Isso indica que a maneira como a chama do queimador funcionou não interferiu nos valores de acidez titulável total.

TABELA 20 Valores médios de número de defeitos, número de grãos verde, preto, ardido e manchado e umidade em % b.u. das amostras do teste 4.

Análise física						
Secagem	Equivalência em defeitos	Número de grãos verdes	Número de grãos Pretos	Número de grãos ardidos	Número de grãos Manchados	Umidade
GLP INT.	86,67 a	193,334 a	2,00 a	31,67 a	451,33 a	9,828 a
GLP CONT.	92,67 a	183,34 a	3,34 a	41,34 a	430,67 a	10,049 a
C.V.(%)	19,31	22,11	30,62	28,84	4,25	1,48

Médias seguidas das mesmas letras na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tuckey, a 5% de probabilidade.

TABELA 21 Valores médios de acidez titulável total, lixiviação de potássio, condutividade elétrica e prova de xícara para as secagens do teste 1, com a presença de defeitos

Análises química e sensorial				
Secagem	A. T.T. (ml NaOH 0,1N)	L.K. (ppm)	C.E. ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ )	Prova de xícara
GLP INT.	225 a	51,09a	160,62 a	DURA
GLP CONT.	233,33a	54,1 a	148,68 a	DURA
C.V.(%)	4,45	6,24	9,28	

Médias seguidas das mesmas letras na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tuckey, a 5% de probabilidade.

TABELA 22 Valores médios de acidez titulável total, lixiviação de potássio, condutividade elétrica e prova de xícara para as secagens do teste 4, sem a presença de defeitos

Análises químicas				
Secagem	A. T.T. (ml NaOH 0,1N)	L.K. (ppm)	C.E. ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ )	Prova de xícara
GLP INT.	216,67 <sup>a</sup>	44,44 <sup>a</sup>	138,65a	DURA
GLP CONT.	225,00 <sup>a</sup>	51,64 <sup>a</sup>	146,60a	AP.MOLE
C.V.(%)	4,62	10,08	3,63	

Médias seguidas das mesmas letras na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tuckey, a 5% de probabilidade.

A condutividade elétrica e a lixiviação de potássio não diferiram estatisticamente ( $P < 0,05$ ), como pode ser observado nas Tabelas 21 e 22. Isso indica que o comportamento das membranas celulares foi igual, tanto para a secagem com chama contínua como para a secagem em que a chama do queimador funcionou de maneira intermitente.

Observa-se que, com a retirada de defeitos, os valores de condutividade

elétrica e lixiviação de potássio tiveram menores valores, confirmando o que foi observado nos demais testes.

Na análise sensorial, na qual as amostras continham grãos defeituosos não se observaram diferenças, sendo as amostras de ambas secagens classificadas como bebida dura (Tabela 21). No entanto, quando a análise sensorial foi feita sem a presença de grãos defeituosos, o café proveniente da secagem GLP contínuo passou a ser classificado como bebida apenas mole e o café da secagem intermitente continuou a ser classificado como bebida dura. Isso indica que a presença de grãos defeituosos pode ter influenciado negativamente a classificação do café da secagem GLP contínuo na análise realizada com a presença de defeitos.

A análise sensorial contrariou os resultados das análises química e física, já que nessas não ocorreram diferenças entre as secagens e na análise sensorial, diferenças entre a classificação das bebidas foram observadas.

Dessa maneira, não se pode afirmar se existe diferença qualitativa entre as secagens GLP contínuo e GLP intermitente. Sugere-se, portanto, a realização de novos testes para se determinar a influência da intermitência da chama do queimador na qualidade do café.

## **4.15 Avaliação econômica**

### **4.15.1 Custo de combustível**

Observou-se, na Tabela 23, que tanto o custo de combustível por unidade de água removida, quanto o custo por saca beneficiada, foi 13,5% menor para a secagem na qual o queimador foi mantido com a chama contínua, confirmando os resultados obtidos por Renato et al. (2001).

TABELA 23 Custo de combustível por kg de água removida e por saca beneficiada do teste 4.

Teste	Secagem	Umidade % (b.u.)		Tempo (horas)			Consumo de combustível	Temperatura. Do ar (°C)		n.º de scs.	Custo de combustível		
		Inicial	Final	Secag	Repouso	Total	kg de (GLP)	Secag	Amb		Total (R\$)	R\$/H <sub>2</sub> O	R\$/scs
4	GLP INTE.	33,11	11,60	11,41	8,50	19,91	92,27	77,23	25,40	14,15	92,27	0,16	6,52
	GLP CONT.	33,11	12,08	9,16	8,50	17,66	78,30	90,30	25,36	13,91	78,30	0,14	5,63

#### 4.15.2 Custo total

Na Tabela 24 são apresentados os valores do custo total, custo de combustível, custo de depreciação e custo de energia elétrica para o teste 4.

TABELA 24: Valores dos custos de combustível, mão-de-obra, depreciação, energia elétrica e total para o teste 4.

CUSTOS	Teste3	
	GLP INTERMITENTE	GLP CONTÍNUO
COMBUSTÍVEL	6,52	5,63
MÃO DE OBRA	1,16	0,94
DEPRECIÇÃO	0,32	0,29
ENERGIA ELÉTRICA	0,43	0,35
TOTAL	8,42	7,21

No teste 4 observou-se um maior custo total na secagem GLP intermitente. O componente que mais influenciou no custo total no teste 4 foi o custo de combustível, com participações de 77,40% na secagem GLP intermitente e 78% na secagem GLP contínuo. O custo de mão-de-obra participou em 13% do custo total em ambas as secagens; a participação do custo de depreciação foi o que teve menor participação no custo total, com cerca de 4% para ambas as secagens. O custo de energia elétrica participou com 5%.

Todos os componentes do custo total, com exceção do custo de combustível, como já foi discutido, foram menores para a secagem GLP contínuo devido, principalmente, ao menor tempo de secagem.

O custo total da secagem com GLP contínuo foi 14,3% menor que o custo total de secagem GLP intermitente.

Desta maneira, do ponto de vista econômico, recomenda-se o funcionamento do queimador operando com chama contínua.

## 5 CONCLUSÕES

Os resultados experimentais obtidos neste trabalho permitiram as seguintes conclusões:

- Secagens utilizando lenha como combustível proporcionaram maiores variações de temperatura do ar de secagem e da massa de café quando comparadas com as secagens que fizeram uso do GLP.
- Energeticamente, a secagem com lenha foi menos eficiente que a secagem com GLP, apresentando menores valores de eficiência e maiores consumos específicos de energia.
- O café submetido à secagem usando GLP como combustível não diferiu qualitativamente daquela cujo aquecimento do ar foi realizado por meio de queima de lenha em fornalha de fogo indireto.
- Economicamente, o custo de combustível na secagem a lenha foi 4,5 vezes menor do que a secagem em que se fez uso de GLP. No entanto, o custo total demonstrou valores praticamente iguais para ambas as secagens.
- Maiores gradientes de temperatura e umidade foram observados na secagem em que o controle de temperatura foi realizado por meio do termômetro bimetálico.
- A temperatura indicada no termômetro bimetálico não representou a real temperatura da massa de café.

- A secagem em que o controle de temperatura máxima de 45°C foi realizado no meio da massa de café apresentou maior consumo específico de energia e menor eficiência, quando comparada com a secagem em que a temperatura limite de 45 °C foi controlada por meio do termômetro bimetalico.

- Maiores custos totais de secagem ocorreram na secagem em que o controle de temperatura foi realizado no meio da massa de café.

- A secagem em que o controle de temperatura foi feito tomando-se como referência o termopar situado no meio da massa obteve uma qualidade superior do café quando comparada com a secagem em que o controle da temperatura máxima da massa de café foi realizado por meio do termômetro bimetalico situado no cilindro do secador.

- O acréscimo no preço por saca de café beneficiado, decorrente de melhor qualidade do café proporcionada pela secagem em que o controle de 45°C foi realizado no meio da massa de café, foi maior do que a redução de custo proporcionada na secagem em que a temperatura da massa foi controlada por meio do termômetro bimetalico.

- O funcionamento do queimador de maneira contínua proporcionou maior eficiência de secagem e menores consumos de combustível, ocasionando uma redução de 13,4% no custo total de secagem comparativamente com o uso da chama intermitente.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMORIN, H.V.; TEIXEIRA, A.A. Transformações bioquímicas, químicas e físicas dos grãos de café verde e a qualidade da bebida. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFFEEIRAS, 3., 1975, Curitiba. **Resumos....** Rio de Janeiro: MIC/IBC, 1975. p.21.
- AMORIN, H.V. et al. Transformações químicas e estruturais durante a deterioração da qualidade do café. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFFEEIRAS, 5., 1977, Guarapari. **Resumos....** Rio de Janeiro: IBC/GERCA, 1977. p. 15-18.
- AMORIN, H.V. **Aspectos bioquímicos e histoquímicos do grão de café verde relacionados com a deterioração da qualidade.** 1978. 85p. Tese (Livre Docência em Bioquímica)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.
- ANDRADE, E.B. ; SASSERON, J.L. ; OLIVEIRA FILHO, D. **Princípios sobre combustíveis, combustão e fornalhas.** Viçosa: Centreinar, 1985. 40p.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of Analyps of the Association of Official Analytical Chemists.** 15. Washington: AOAC, 1990.
- BARRIOS, B.E.B. **Caracterização física, química, microbiológica e sensorial de cafés (Coffea arabica L.) da região alto Rio Grande – Sul de Minas Gerais.** 2001. 69p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos)-Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- BARTHOLO, G.F. et al. Cuidados na colheita, no preparo e no armazenamento do café. **Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v.14, n.162, p.33-44, 1989.**
- BAKKER-ARKEMA, F.W. et al. Energy and capacity performance evaluation of grain dryers. **ASAE, Michigan, paper 78 – 3523, 13p. 1978.**
- BORÉM, F. M. **Efeito da temperatura e da umidade relativa do ar de secagem sobre a qualidade de sementes de milho (Zea mays L.), híbrido AG – 303.** 1992. 50p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

GRANDI, A. M.; MELO, A. C.; BERBET, P.A.; MACHADO, M.C. Avaliação das diferenças de teor de umidade e temperatura nas câmaras de secagem de um secador de camada fixa vertical com revolvimento mecânico durante a secagem de café (*Coffea arabica* L.). **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, n.1, p.54-59, 2000. Especial.

GUIDA, V. F. A. A. **Influência da temperatura, fluxo do ar e altura da camada de grãos na secagem de café (*Coffea arabica* L.) despulpado em secador experimental de camada fixa.** 1994. 57p. Dissertação (Mestrado em Ciências dos Alimentos)-Universidade Federal de Lavras, Lavras.

HERTER, U. ; BURRIS, J.S. Changes in moisture, temperature and quality of corn seed during high-temperature drying. **Canadian Journal of Plant Science**, Canada, v.69, n.1, p.749-761, Aug. 1989a.

HERTER, U. ; BURRIS, J.S. Effect of drying rate and temperature on drying injury of corn seed. **Canadian Journal of Plant Science**, Canada, v.69, n.1, p.763-774, July 1989b.

INSTITUTO BRASILEIRO DO CAFÉ-GERCA. **Cultura de café no Brasil: processamento, classificação e armazenamento do café.** 5.ed. Rio de Janeiro: IBC-GERCA, 1985. p.423-461.

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

LACERDA FILHO, A.F. **Avaliação de uma unidade de beneficiamento de sementes de milho (*Zea mays*, L.).**1998. 198p. Tese. (Doutorado em Agronomia)-Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

LOPEZ, L.M.V. et al. Avaliação da qualidade de grãos de diferentes cultivares de cafeeiro (*Coffea arabica* L.). **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, n.1, p.3-8, 2000. Especial.

KREYGER, J. Practical observations on the drying of seed. **Seed Science and Technology**, Zurich, v.1, n.3, p.645-670, 1973.

LASSERAM, J.C. Características técnicas dos secadores. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, v. 4, n.1, p. 4-14, 1979.

LEITE, I. P. **Influência do local de cultivo e do tipo de colheita nas características físicas, composição química do grão e qualidade do café (Coffea arabica L.).** 1991. 135p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos)- Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras.

LUZIN, N.R. et al. Utilização de lavadores e secadores mecânicos no preparo do café na região do noroeste, no Estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 15., 1989, Maringá. **Resumos....** Rio de Janeiro: IBC/GERCA, 1989.p.109-112.

MELO, E.C. **Rendimento térmico de uma fornalha a lenha de fluxos descendentes.** 1987. 56p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

MENDES, A. N. G. **Recomendações técnicas para a cultura do cafeeiro no Sul de Minas.** Lavras: UFLA, 1995. 76p.

OCTAVIANI, J.C. **Secagem de café cereja descascado desmucilado com a utilização de GLP.** 2000. 120p. Tese (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Universidade de Campinas, Campinas.

OCTAVIANI, J.C.; BIAGI, J. D. Custo energético e consumo de gás liquefeito de petróleo em secagens de café. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 29., 2000, Fortaleza. **Anais....** Fortaleza: SBEA, 2000. 1 CD-ROM.

OLIVEIRA, J. A. de. Et al. Avaliação do desempenho de barcaças com fornalha de fogo direto e coletor solar, em comparação com terreiro de alvenaria na secagem de café. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 11., 1984, Londrina. **Resumos....** Rio de Janeiro: MIC/IBC, 1984. p.219-223.

OLIVEIRA, M. V. **Efeito do armazenamento no branquiamento de grãos de café beneficiado:** modelagem matemática de processo. 1995. 99p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos)-Universidade Federal de Lavras, Lavras.

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

OSÓRIO, A.G.S. et al. Secagem de café em secadores de fluxos concorrentes. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.9, n.99, p.18-24, 1983.

PAMMENTER N.W. et al. Effects of differential drying rates on viability retention of racalcitrant seeds of *Ekbergia capensis*. **Seed Science Research**. New York, v.8, n.4, p.463-471, Dec. 1998.

PEREIRA, R.G.F.A., **Efeito da inclusão de grãos defeituosos na composição química e qualidade do café (*Coffea arábica* L.) “estitamente mole”**. 1997. 96p. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos)-Universidade Federal de Lavras, Lavras.

PIMENTA, C. J. **Qualidade do café (*Coffea arabica* L.) originado de frutos colhidos em quatro estádios de maturação**. 1995. 94p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos)-Universidade Federal de Lavras, Lavras.

PINTO, F.A.C. **Projeto de um secador de fluxos contracorrentes/concorrentes e análise de seu desempenho na secagem de café (*Coffea arabica* L.)**. 1993. 72p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

PINTO, N.A.V.D. et al. Efeito da polifenoloxidase, lixiviação de potássio e condutividade elétrica nos grãos crus em diferentes padrões de bebida. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 26., 2000, Marília. **Anais....** Rio de Janeiro: MA/PROCAFEE, 2000. p. 330-331.

PRETE, C.E.C. **Condutividade elétrica do exsudato de grãos de café (*Coffea arábica* L.) e sua relação com a qualidade da bebida**. 1992. 125p. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

PRETE, C.E.C.; ABRAHÃO, J.T.M.; BARCA, A. A.L. Efeito da temperatura de secagem de frutos de café colhidos nos estádios de maturação cereja e verde, sobre a condutividade elétrica dos grãos. In: CONGRESSO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 21., 1995, Caxambu. **Anais....** Rio de Janeiro: MA/PROCAFÉ, 1995. p.119-121.

REINATO, C.H.R. et al. Avaliação de sistemas de Secagem de café em propriedades agrícolas do sul de Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 27., 2001, Uberaba. **Trabalhos apresentados...** Rio de Janeiro: MA/PROCAFÉ, 2001. p. 384-386.

RUSSOMANO, V.H. **Introdução à administração de energia na indústria**. São Paulo: USP, 1987. 262p.

SILVA, S. O. **Preço de lenha para produtores de cal em três microregiões homogêneas do estado de Minas Gerais**. 1986. 58p. Dissertação (Mestrado em Administração e Economia)- Universidade Federal de Lavras, Lavras.

SILVA, L.C. **Desenvolvimento e avaliação de um secador de café (*Coffea arabica* L.) intermitente de fluxos contracorrentes**. 1991. 74p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

SILVA, J. S. et al. **Avaliação de secadores e custo de secagem de produtos agrícolas**. Engenharia na Agricultura. **Armazenamento**. Viçosa, v.2, n.2, p.1-19, 1992.

SILVA, J. S. et al. **Análise de sistemas de secagem**. Engenharia na Agricultura. **Caderno didático**. Viçosa, v.2, n.5, p.1-31, 1992.

SILVA, C. G. da; CORRÊA, P. C.; MARTINS, J. H. **Qualidade da bebida do café (*Coffea arabica* L.) em função da proporção de frutos verdes e da temperatura do ar de secagem**. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, v.1, n.23, p.45-48, 1998.

SILVA, J. de S.; BERBERT, P. A. **Colheita, secagem e armazenamento de café**. Viçosa: UFV, 1999. 146p. Aprenda Fácil.

SILVA, J. de S.; LACERDA FILHO, A. F. de; BERBERT, P. A. **Secagem e armazenagem de produtos agrícolas**. In: SILVA, J. de S. **Secagem e armazenagem de produtos agrícolas**. Viçosa:UFV, 2000. p. 395-467.

SOBRINHO, J.C. **Custos comparativos de secagem de café usando-se lenha de eucalipto e Gás Liquefeito de Petróleo**. In: SIMPÓSIO DE PESQUISAS DOS CAFÉS DO BRASIL, 1., Poços de Caldas, 2000. **Resumos...** Brasília: EMBRAPA CAFÉ/MINASPLAN, 2000. p.1132-1137.

SOBRINHO, J.C. **Avaliação de sistemas de secagem de café com aquecimento do ar em vapor de água, lenha de eucalipto e Gás liquefeito de Petróleo**. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, n.3, p.25-34, 2001. Especial,

TEIXEIRA, A. A. et al. **Estudo do desempenho dos secadores mecânicos e barças ventiladas na secagem de café**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 8., 1980, Campos do Jordão. **Resumos....** Rio de Janeiro: IBC/GERCA, 1980. p.262-278.

TOSSELLO, A. A colheita, preparo por via seca e armazenamento do café. In: J. NETTO, E. de P. **Primeiro curso de cafeicultura**. São Paulo: Instituto Agrônômico do Estado de São Paulo. 1957. 249-257.

OLIVIEIRA, G. **Secagem intermitente de café (*Coffea arabica* L.) em secadores de fluxo cruzado e em secador experimental de camada fixa**. 1994. 107p. Tese (Mestrado em Ciência dos Alimentos)-Univessidade Federal de Lavras, Lavras.

VIEIRA, G.; VILELA, E.R. Secagem intermitente de café (*Coffea arábica* L.) em secador experimental de camada fixa. **Ciência e Prática**, Lavras, v.19, n.3, p.289-296, 1995.

VILELA, E.R. Secagem e qualidade do café. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.18, n.187, p.55-63, 1997.

VILELA, E.R.; PEREIRA, R.G.F.A. Pós-colheita e qualidade do café. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 29., 1998, Lavras. **Trabalhos...** Lavras:UFLA/SBEA, 1998. p.219-274.

YOUNG, J.H.. DICKENS, J.W. Evaluation of costs for drying grain in batch of cross-flow systems. **Transactions of ASAE**, v.18, n.4, p.734-738, 1975.