

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS - UNICAMP  
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA - FEAGRI**

**AVALIAÇÃO DE SECADORES HORIZONTAIS ROTATIVOS COM  
UTILIZAÇÃO DE LENHA E GÁS LIQÜEFEITO DE PETRÓLEO EM  
SECAGEM DE CAFÉ CEREJA DESCASCADO DESMUCILADO.**

**JULIO CESAR OCTAVIANI**

**CAMPINAS, FEVEREIRO DE 2005**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS - UNICAMP  
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA - FEAGRI**

**AVALIAÇÃO DE SECADORES HORIZONTAIS ROTATIVOS COM  
UTILIZAÇÃO DE LENHA E GÁS LIQÜEFEITO DE PETRÓLEO EM  
SECAGEM DE CAFÉ CEREJA DESCASCADO DESMUCILADO.**

**Aluno: JULIO CESAR OCTAVIANI**

**Orientador: Prof. Dr. JOÃO DOMINGOS BIAGI**

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia  
Agrícola da Universidade Estadual de Campinas  
como parte dos requisitos para obtenção do título  
de Doutor em Engenharia Agrícola

**CAMPINAS, FEVEREIRO DE 2005**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

Oc7a Octaviani, Julio Cesar  
Avaliação de secadores horizontais rotativos com  
utilização de lenha e gás liquefeito de petróleo em  
secagem de café cereja descascado desmucilado / Julio  
Cesar Octaviani.--Campinas, SP: [s.n.], 2005.

Orientador: João Domingos Biagi.  
Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de  
Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Café - Secagem. 2. Grão - Secagem. 3. Energia -  
Consumo. 4. Avaliação sensorial. I. Biagi, João  
Domingos. II. Universidade Estadual de Campinas.  
Faculdade de Engenharia Agrícola. III. Título.

Titulo em Inglês: Evaluation of horizontal rotary dryer using firewood and liquefied  
petroleum gas on unhusked desmucilated cherry coffee drying

Palavras-chave em Inglês: Coffee drying, Grain drying, Energy Consumption e  
Sensory evaluation

Área de concentração: Tecnologia Pós-Colheita

Titulação: Doutor em Engenharia Agrícola

Banca examinadora: Jayme de Toledo Piza e Almeida Neto, Kil Jin Park, Marlene Rita  
de Queiroz e Widsney Alves Ferreira

Data da defesa: 25/02/2005

## AGRADECIMENTOS

*Nosso crescimento depende de nossas atitudes para com os que nos cercam. Vocês certamente colaboraram na execução deste trabalho. Creio que nada ocorre por acaso e, assim sendo, sei que foram enviados por Deus, nosso Pai. Que Ele os abençoe.*

À Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), à Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI), pela oportunidade concedida para a realização do curso.

À Pinhalense S/A Máquinas Agrícolas, nas pessoas dos diretores Lourenço Del Guerra e Adélcio Piagentini, pelo fornecimento e instalação dos secadores, pelo apoio técnico e principalmente pela amizade.

À Fundação Pinhalense de Ensino, mantenedora do CREUPI- Centro Regional Universitário de Espírito Santo do Pinhal, pela disponibilização dos laboratórios e computadores.

Ao professor João Domingos Biagi, pela confiança, pelo respeito, pelos ensinamentos, por ter me feito renovar o conceito de persistência, pela oportunidade de trabalhar sob sua orientação segura e pela amizade.

Ao professor Jayme de Toledo Piza e Almeida Neto pelos ensinamentos, pelas sugestões e pela participação na Comissão Julgadora da Defesa da Tese.

Ao professor Kil Jin Park, pelas sugestões oferecidas e pela participação na Comissão Julgadora da Defesa da Dissertação.

À professora e Marlene Rita de Queiroz, pela participação na Comissão Julgadora da Defesa da Tese e pelas sugestões.

Ao professor Widsney Alves Ferreira, pelas sugestões oferecidas e pela participação na Comissão Julgadora da Defesa da Dissertação.

À Cooperativa dos Cafeicultores da Região de Pinhal, em especial ao técnico do Departamento de Classificação de Café, João Luis Rossatti, pelos constantes atendimentos, pela cessão das instalações e equipamentos para o benefício das amostras e pela análise sensorial dos cafés.

À Cooperativa dos Produtores de Café de São Sebastião do Paraíso, em especial ao técnico do Departamento de Classificação de Café, Marcio Fagundes de Souza, pelos constantes atendimentos e pela análise sensorial dos cafés.

Ao Técnico Agrícola Richard de Carvalho, pelo apoio logístico e pela coordenação da equipe que auxiliou nas coletas de dados.

Aos ex-alunos e colegas Gláucia Moreira, Cláudio José de Camargo e Maximiliano Tadeu Ruggiero, pelo desprendimento, pela seriedade e pelo convívio nos dias e noites, auxiliando nas coletas de dados.

À Dona Ana Maria V. Ribeiro , querida cunhada, pela revisão gramatical do texto.

À amiga e professora Maria Helena Calafiori, pelo incentivo constante.

À secretária da Coordenadoria de Pesquisa e Extensão do CREUPI, Lúcia Helena de Freitas Soares de Oliveira, pela tolerância e compreensão, em todos os momentos.

Ao colega Benedito de Freitas Bueno, pelo auxílio com o equation.

Ao funcionário do Centro Regional Universitário de Espírito Santo do Pinhal, Luciano Rissetto, pela colaboração na coleta de dados.

À assistente técnica da direção da FEAGRI, Ana Paula Montagner, pela amizade, presteza e consideração.

À técnica administrativa da FEAGRI, Marta Aparecida Rigonato Vechi, pela ajuda constante.

À secretária da pós-graduação da FEAGRI, Rosângela Gomes, pelas informações e alertas.

Aos meus familiares, pela tolerância e compreensão na minha ausência.

*Ao Grande Arquiteto do Universo, que é Deus, pela vida;*

*À minha esposa Eliane e aos meus filhos Bruno, Paulo e Renato,  
pelo carinho, respeito e dedicação;*

*Aos meus pais, Cesar e Helena e aos meus irmãos, Fátima e Luciano,  
pelo apoio em todos os momentos;*

DEDICO.

## **SUMÁRIO**

PÁGINA DE ROSTO .....	i
AGRADECIMENTOS.....	ii
DIDICATÓRIA .....	iv
SUMÁRIO .....	v
LISTA DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE TABELAS.....	xi
LISTA DE EQUAÇÕES .....	xiii
RESUMO .....	xiv
SUMMARY .....	xv
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. OBJETIVOS .....	5
2.1. Objetivo geral .....	5
2.2. Objetivos específicos.....	5
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	6
3.1. Importância econômica.....	6
3.2. O cultivar Icatú IAC 2944.....	10
3.3. Maturação.....	10
3.4. Colheita .....	11
3.5. Lavagem.....	13
3.6. Despulpamento e Desmucilagem .....	14
3.7. Pré-secagem .....	16
3.8. Secagem mecânica .....	17
3.9. Secadores horizontais rotativos.....	19
3.10. Parâmetros de secagem.....	20

3.10.1. Temperatura .....	20
3.10.2. Fluxo de ar.....	22
3.10.2.1. Rendimento do sistema de ventilação .....	24
3.10.3. Umidade do produto .....	25
3.11. Fontes de energia.....	27
3.11.1. Gás Liqüefeito de Petróleo (GLP).....	27
3.11.2. Lenha.....	30
3.12. Custo de secagem.....	31
3.13. Armazenagem em pergaminho .....	34
3.14. Beneficiamento .....	35
3.15. Armazenagem pós-benefício .....	36
3.16. Qualidade .....	37
3.17. Classificação .....	37
3.17.1. Classificação pela qualidade .....	39
3.17.2. Classificação pela bebida .....	39
4. MATERIAL E MÉTODOS .....	42
4.1. Planejamento.....	44
4.2. Matéria-prima .....	45
4.3. Colheita .....	45
4.4. Lavagem.....	46
4.5. Despulpamento .....	47
4.6. Desmucilagem .....	48
4.7. Pré-secagem .....	48
4.8. Secagem mecânica .....	49

4.8.1. Temperaturas .....	53
4.8.1.1. Ar ambiente .....	53
4.8.1.2. Ar de secagem .....	54
4.8.1.3. Massa de grãos .....	54
4.8.1.4. Saída do secador .....	55
4.8.1.5. Amostras .....	56
4.8.2. Fluxos .....	57
4.8.2.1. Fluxo de ar.....	57
4.8.2.2. Fluxo de GLP .....	58
4.8.2.3. Consumo de lenha.....	58
4.8.3. Umidade .....	59
4.8.3.1. Umidade relativa do ar.....	59
4.8.3.2. Umidade dos grãos.....	59
4.9. Massa específica .....	60
4.10. Amostragem e armazenagem .....	60
4.11. Benefício.....	61
4.12. Análise sensorial.....	62
4.13. Custo de secagem.....	63
4.13.1. Custo energético .....	63
4.13.2. Custo do trabalho .....	63
4.13.3. Custo do capital.....	64
4.14. Rendimento do sistema de ventilação .....	64
4.15. Análise estatística.....	65
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	66

5.1. Condições experimentais .....	66
5.2. Secagem .....	70
5.2.1. Ajuste de curvas .....	70
5.2.2. Curvas de secagem.....	71
5.2.3. Água removida .....	77
5.2.4. Temperatura do ar de saída .....	79
5.2.5. Massa específica.....	80
5.2.6. Consumo de Gás liqüefeito de petróleo (GLP).....	83
5.2.7. Consumo de lenha.....	85
5.2.8. Consumo de energia combustível .....	87
5.2.9. Consumo de energia elétrica.....	88
5.2.10. Rendimento do conjunto motor-ventilador .....	88
5.2.11. Custo das secagens de café .....	89
5.2.12. Eficiência dos sistemas de aquecimento do ar .....	92
5.2.13. Qualidade .....	93
6. CONCLUSÕES .....	95
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	97
APÊNDICE .....	106

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Fluxograma de preparo do café .....	2
Figura 4.1 - Instalações e pontos de coleta de dados .....	43
Figura 4.2 - Colheita mecanizada do café.....	45

Figura 4.3 - Transporte para carreta basculante .....	46
Figura 4.4 - Calhas do lavador, com cafés lavados.....	47
Figura 4.5 - Descascador Pinhalense mod. DC-6. ....	47
Figura 4.6 - Saída dos grãos descascados do desmucilador para envio ao terreiro .....	48
Figura 4.7 - Revolvimento do café com rodos dentados .....	49
Figura 4.8 - Instalação para secagem e disposição dos secadores .....	50
Figura 4.9 - Secador com Queimador Noway EC-5 em operação.....	50
Figura 4.10- Secador com Forno FTC-04 em operação .....	51
Figura 4.11- Distribuição do ar de secagem em secador SRE-150.....	52
Figura 4.12- Corte do cilindro de secagem com distribuição do ar.....	52
Figura 4.13-Termohigrógrafo para o registro das condições ambientais.....	53
Figura 4.14- Registro de temperatura do ar de secagem .....	54
Figura 4.15 - Registro de temperatura da massa de café .....	55
Figura 4.16 - Posição dos termopares e registrador de temperatura .....	56
Figura 4.17- Operação do determinador Gehaka G-600 .....	56
Figura 4.18- Tubo pitot e coluna Dwyer 1211-36.....	57
Figura 4.19- Registrador de consumo acoplado ao queimador .....	58
Figura 4.20 - Lenha de eucalipto pronta para utilização.....	59
Figura 4.21- Retirada de amostra do secador .....	60
Figura 4.22 - Acondicionamento de amostras de café em pergaminho.....	61
Figura 4.23 - Análise para seca, cor e aspecto do café.....	62
Figura 4.24 - Análise da bebida pela prova de xícara. ....	63
Figura 5.1 - Temperatura ambiente em 12 secagens de café .....	69
Figura 5.2 - Umidade relativa do ar ambiente em 12 secagens de café.....	70

Figura 5.3 - Curvas de secagem de café, para fluxos de ar de 140,74 e 169,94 m <sup>3</sup> .min <sup>-1</sup> e temperaturas de 41,95 e 39,20°C na massa de grãos, respectivamente .....	72
Figura 5.4 - Curvas de secagem de café, para fluxos de ar de 141,35 e 169,85 m <sup>3</sup> .min <sup>-1</sup> e temperaturas de 41,24 e 36,36°C na massa de grãos, respectivamente .....	73
Figura 5.5 - Curvas de secagem de café, para fluxos de ar de 138,90 e 170,46 m <sup>3</sup> .min <sup>-1</sup> e temperaturas de 43,74 e 38,63°C na massa de grãos, respectivamente .....	73
Figura 5.6 - Curvas de secagem de café, para fluxos de ar de 143,83 e 171,80 m <sup>3</sup> .min <sup>-1</sup> e temperaturas de 41,10 e 36,30°C na massa de grãos, respectivamente .....	74
Figura 5.7 - Curvas de secagem de café, para fluxos de ar de 141,73 e 170,63 m <sup>3</sup> .min <sup>-1</sup> e temperaturas de 41,37 e 36,35°C na massa de grãos, respectivamente .....	75
Figura 5.8 - Curvas de secagem de café, para fluxos de ar de 141,38 e 171,69 m <sup>3</sup> .min <sup>-1</sup> e temperaturas de 42,63 e 35,73°C na massa de grãos, respectivamente .....	75
Figura 5.9 - Curvas de secagem de café, para fluxos de ar de 143,10 e 174,53 m <sup>3</sup> .min <sup>-1</sup> e temperaturas de 42,15 e 37,85°C na massa de grãos, respectivamente .....	76
Figura 5.10 - Curvas de secagem de café, para fluxos de ar de 143,12 e 126,29 m <sup>3</sup> .min <sup>-1</sup> e temperaturas de 41,33 e 36,43°C na massa de grãos, respectivamente .....	77
Figura 5.11 - Água removida em secagens de café utilizando-se lenha .....	78
Figura 5.12 - Água removida em secagens de café utilizando-se GLP .....	79
Figura 5.13 - Massa específica de café em pergaminho em função do tempo de secagem com uso de lenha.....	81
Figura 5.14 - Grãos em pergaminhos rompidos e/ou deformados .....	82
Figura 5.15 - Massa específica de café em pergaminho em função do tempo de secagem com uso de GLP .....	82
Figura 5.16 - Consumo de GLP em secagens de café.....	83
Figura 5.17 - Consumo médio horário de GLP em secagens de café.....	84

Figura 5.18 - Consumo de GLP em secagens de café.....	85
Figura 5.19 - Consumo médio horário de lenha em secagens de café .....	86
Figura 5.20 - Consumo de lenha em secagens de café .....	86

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Principais países produtores de café.....	7
Tabela 3.2 - Exportações brasileiras de café.....	7
Tabela 3.3 - Produção de café no Brasil e no mundo ( mil sacas de 60 Kg) período 1900-2003/04 .....	8
Tabela 3.4 - Evolução do consumo interno de café, Brasil, em sacas de 60 Kg/ano .....	9
Tabela 3.5 - Teores de umidade nas diversas etapas do café colhido .....	12
Tabela 3.6 - Variações nas secagens e efeitos sobre a bebida do café.....	20
Tabela 3.7 - Média do comportamento de secagens com 2 tipos de queimadores.....	29
Tabela 3.8 - Consumo de GLP em diferentes condições de secagem de café .....	30
Tabela 3.9 - Poder calorífico inferior de algumas espécies de madeira .....	30
Tabela 3.10 – Custo energético e qualidade da bebida em 12 secagens de café.....	32
Tabela 3.11 - Classificação Oficial Brasileira.....	38
Tabela 3.12- Equivalência de grãos imperfeitos .....	38
Tabela 3.13 - Descrições de padrões de bebidas através da prova de xícara .....	40
Tabela 4.1- Esquema de distribuição de dados em 16 secagens de café.....	44
Tabela 5.1 - Condições experimentais médias em 16 secagens de café.....	67
Tabela 5.2- Temperatura e umidade relativa do ar ambiente em secagens de café .....	68

Tabela 5.3 - Curvas de secagem ajustadas linearmente, em função de diferentes fluxos de ar e temperatura na massa de grãos .....	71
Tabela 5.4 - Temperatura do ar de saída em secador rotativo (°C) .....	80
Tabela 5.5- Consumo de energia do combustível em secagens de café em função da água removida.....	87
Tabela 5.6 - Consumo de energia elétrica em secagens de café.....	88
Tabela 5.7 – Rendimento do conjunto motor-ventilador em secagens de café .....	89
Tabela 5.8 – Custos de secagem de café em secador horizontal ( $R\$ \cdot Kg H_2O_{remov}^{-1}$ ) ..	90
Tabela 5.9 - Composição por categorias de custos em secagens de café.....	91
Tabela 5.10 – Eficiência de 2 sistemas de aquecimento do ar em secagens de café...	92
Tabela 5.11- Qualidade sensorial de cafés secos com utilização de lenha e GLP.....	93

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 3.1 - Velocidade do ar, ( $m \cdot min^{-1}$ ) .....	23
Equação 3.2 - Pressão barométrica local, (KPa).....	23
Equação 3.3 - Densidade do ar, ( $Kg \cdot m^{-3}$ ) .....	24
Equação 3.4 - Fluxo de ar, ( $m^3 \cdot min^{-1}$ ).....	24
Equação 3.5 - Potência útil, (W).....	24
Equação 3.6 - Potência elétrica, (W) .....	25
Equação 3.7 - Rendimento, (%) .....	25

Equação 3.8 - Vazão instantânea de GLP, (Kg/h).....	26
Equação 3.9 - Custo do GLP ou Lenha utilizados na secagem, (R\$*Kg H <sub>2</sub> O <sub>remov</sub> <sup>-1</sup> ).....	33
Equação 3.10 - Custo da energia elétrica utilizada na secagem, (R\$*Kg H <sub>2</sub> O <sub>remov</sub> <sup>-1</sup> ) ...	33
Equação 3.11 - Custo energético, (R\$*Kg H <sub>2</sub> O <sub>remov</sub> <sup>-1</sup> ) .....	33
Equação 3.12 - Custo do trabalho, (R\$*Kg H <sub>2</sub> O <sub>remov</sub> <sup>-1</sup> ) .....	34
Equação 3.13 - Taxa de depreciação, (%) .....	34

## **1. INTRODUÇÃO**

O Brasil é o maior produtor e exportador e o segundo maior consumidor mundial de café, envolvendo direta ou indiretamente aproximadamente 10 milhões de pessoas, em todos os segmentos do setor, desde a produção até a sua comercialização e industrialização.

Com a evolução industrial, o café teve sua participação relativa gradativamente reduzida na pauta de exportações ao longo dos anos, embora, ainda hoje algumas regiões de grande importância para a economia nacional tenham no café a base de sua sustentação econômica.

A economia cafeeira financiou mais de meio século de industrialização e desenvolvimento do Brasil; no entanto, na gestão do agronegócio café, o governo central, após décadas de intervenção e ineficiência, começa a despertar para a necessidade de se produzir com eficiência, visando suprir o mercado mundial, que inicia um ciclo de escassez de cafés de qualidade superior.

Como resultado dessa política, o Brasil inicia um processo de retomada na participação mundial, distanciando-se dos demais exportadores, sendo o único grande produtor com capacidade de expansão da área cultivada.

A qualidade do café é fator preponderante para a obtenção de êxito no processo produtivo e os procedimentos adequados de colheita, bem como lavagem, secagem e armazenagem são determinantes para a sua manutenção. O fluxograma do pré-processamento do café é observado na figura 1.1.

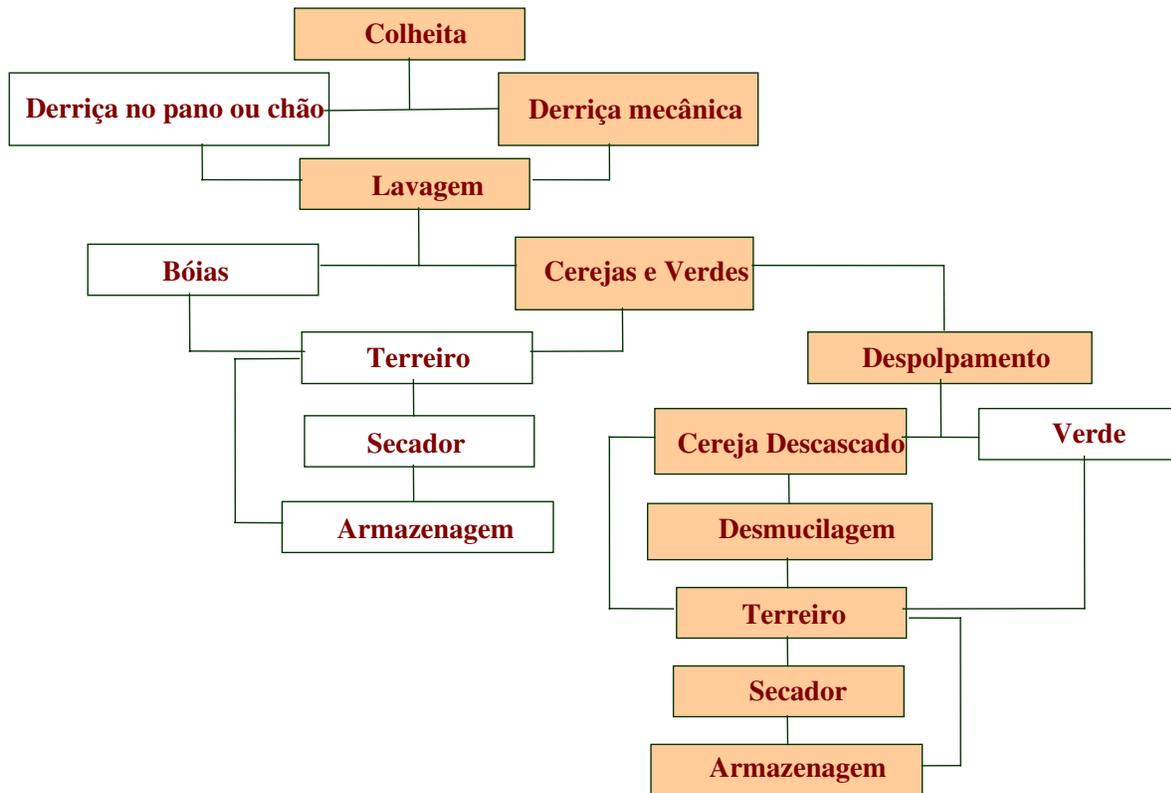


Fig. 1.1- Fluxograma de preparo do café

O processo de colheita através da derriza no pano vem sendo recomendado, por evitar o contato entre os grãos a serem colhidos com os grãos portadores de maiores índices de acidez e fermentação indesejáveis, previamente caídos no chão e para não agregar ao produto final alguns defeitos provindos diretamente do solo, tais como torrões e pedras.

O estágio de maturação dos frutos denominado cereja é o ideal para a realização da colheita, pois o endosperma se encontra plenamente desenvolvido e a

mucilagem que envolve o pergaminho (endocarpo do fruto), rica em açúcares, ainda não sofreu processos de fermentação naturais, conferindo maior suavidade à bebida proveniente destes frutos.

A retirada da casca (exocarpo do fruto) traz inúmeras vantagens no processamento do café, tornando possível a separação dos frutos ainda verdes que, nos procedimentos de lavagem e secagem convencionais, não se separam dos frutos cereja, o que pode provocar excessiva acidez à bebida, além de piorar a qualidade na classificação por tipo, já que os grãos verdes constituem defeitos, nesta avaliação. Outra vantagem deste processo é a economia de espaço físico de terreiros de secagem, uma vez que o volume de material processado diminui sensivelmente. A secagem do café oriundo de descascamento prévio é significativamente mais econômica, pelo fato de não haver necessidade de remoção da água contida na casca do fruto.

A desmucilagem mecânica é um procedimento tecnológico que consta da retirada de grande parte da polpa mucilagínosa que se mantém aderida externamente ao pergaminho, sem a realização de fermentação, mantendo a aderência de mucilagem apenas residual, eliminando-se a necessidade da realização de pré-secagem em terreiro. Por ter como finalidade evitar aglomerados de grãos presos por esta polpa, durante a secagem mecânica, resulta em maior homogeneização no aspecto do produto seco. Ainda deve se observar o fato de que a pré-secagem em terreiro para cafés descascados provoca, através da passagem de rodos dentados de madeira e pisoteios sucessivos, elevados índices de trincas e esmagamento dos pergaminhos.

A secagem mecânica em secadores rotativos é predominante entre os cafeicultores no Brasil, pelo fato de não necessitar de uma pré-secagem por longo período em terreiro, possibilitando a movimentação dos grãos, ao longo da secagem, não permitindo a ocorrência de fermentações, além de se tratar do mais adequado método mecânico de secagem para operar com grãos despulpados ou do tipo cereja descascado e desmucilado.

O estudo de sistemas de secagem utilizando diferentes combustíveis, como no presente trabalho, que tem por objetivo avaliar comparativamente o desempenho de dois secadores horizontais rotativos iguais, com diferentes sistemas de aquecimento do ar de secagem, utilizando grãos de café cereja descascado e desmucilado, não só do ponto de

vista energético, como também da qualidade, é fundamental para a obtenção de informações que possibilitem maior economicidade, racionalização energética, redução do período de secagem e manutenção da qualidade do produto final.

A maioria dos produtores utilizam lenha de árvores nativas, de eucalipto ou mesmo de cafeeiros substituídos como combustível para o processo de secagem. A utilização do gás liqüefeito de petróleo, após crescente utilização, vem perdendo espaço entre os cafeicultores, principalmente devido ao alto preço, embora possibilite melhor controle das temperaturas do ar e da massa de grãos; de eliminação de possíveis odores de fumaça nos grãos secos, e de racionalização do uso de mão-de-obra, eliminando-se a necessidade de manutenção de vigilância contínua, ao longo da operação de secagem.

Após a realização da secagem, torna-se necessário submeter os grãos a um período de repouso em tulha, de, no mínimo 24 horas, com a finalidade de baixar a temperatura dos mesmos, evitando-se, assim, possível quebra do endosperma, durante o atrito dos grãos com os componentes metálicos, quando da retirada mecânica do pergaminho, para obtenção do café beneficiado.

A retirada dos pergaminhos permite a classificação das amostras segundo seu tipo, percentagens de peneiras, assim como pela análise sensorial das bebidas resultantes dos grãos componentes das mesmas.

A tecnologia pós-colheita adotada para a execução do projeto está entre as mais recentes e promissoras no Brasil pois, além de agregar valor ao produto, pela inserção no mercado de cafés especiais ou “gourmet”.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo geral**

O trabalho tem por objetivo avaliar comparativamente o desempenho de dois secadores horizontais rotativos iguais, porém com sistemas diferentes de aquecimento do ar de secagem, utilizando grãos de café arábica (*Coffea arabica* L.) cereja descascado e desmucilado Icatú IAC 2944, não só do ponto de vista energético como também da qualidade do produto.

### **2.2. Objetivos específicos**

2.2.1. Avaliar o processo de secagem.

2.2.2. Analisar os parâmetros seca, cor, aspecto e bebida em função do processo.

2.2.3. Avaliar os consumos de lenha, de GLP e o custo total dos processos de secagem.

2.2.4. Avaliar a eficiência energética dos sistemas de aquecimento do ar.

### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1. Importância econômica**

O Brasil sempre é associado a café, cuja atividade constitui uma expressiva força econômica ao longo de toda a história da nação. E não faltam motivos, pois como pode ser observado na tabela 3.1, e segundo AGRIANUAL 2005 (2004), o país é o maior produtor mundial, e o segundo maior consumidor, equivalendo aproximadamente 50% do total de todos os países produtores. A produção de café no mundo encontra-se distribuída em 54 países, sendo o Brasil, o Vietnã e a Colômbia os mais expressivos, representando 56% da produção mundial.

Seu cultivo vem sendo utilizado para alavancar o desenvolvimento dos principais estados brasileiros nos últimos cem anos. Trouxe a prosperidade a São Paulo e ao Paraná e hoje se expande pelos cerrados, sendo respaldado por uma tecnologia moderna e eficiente, onde Minas Gerais contribui com mais de 50% da produção nacional..

Tabela 3.1- Principais países produtores de café.

Café em Grão - Produção em 10 Países Selecionados (Mil Sacas de 60 kg)					
Países	2000	2001	2002	2003	2004*
Brasil	34100	35100	51100	32000	42400
Vietnã	15333	12833	11167	12166	12000
Colômbia	10500	11950	11712	11300	11600
Indonésia	6495	6160	6140	6000	5750
México	4800	4200	4350	4500	4500
Índia	5020	5010	4588	4334	4835
Etiópia	3683	3756	3693	4333	4000
Guatemala	4564	3530	3802	3802	3671
Uganda	3205	3166	2910	3100	3200
Peru	2824	2550	2760	2870	2980

Fonte: USDA. Extraído de (AGRIANUAL 2005)

\* Estimativas da FNP Consultoria

O avanço tecnológico, faz do café um dos maiores geradores de empregos do mercado de trabalho brasileiro. Aproximadamente dez milhões de pessoas se envolviam direta ou indiretamente com o café, em todos os segmentos do setor.

Para o consumidor, dois aspectos são importantes: a qualidade do café e o preço compatível.

As exportações brasileiras de café são observadas na tabela 3.2.

Tabela 3.2- Exportações brasileiras de café\*

Ano	Toneladas
2000	967.957
2001	1.255.973
2002	1.556.529
2003	1.374.621
2004**	627.833

Fonte: AGRIANUAL 2005

\* (Total de arábica, robusta, solúvel, torrado ou não, descafeinado ou não) \*\* Até junho.

É sabido que o café consumido no mercado interno é de baixa qualidade, se comparado aos cafés exportados.

Considerando-se o consumo atual brasileiro em 14.600.000 sacas de 60,0 kg (AGRIANUAL, 2005) e a população brasileira de 175 milhões de habitantes, pode-se afirmar que o atual consumo 'per capita' brasileiro é da ordem de 5,00 kg de café beneficiado, equivalentes à 4,0 Kg de café torrado e moído.

Analisando a evolução da produção de café no mundo, observa-se na tabela 3.3, que a participação brasileira caiu de 80% no início do século, para 41% em 2003. Em

contrapartida, a evolução do consumo de café no mercado interno, a partir de 1990, teve um incremento de 75% até 2003, como pode ser observado na tabela 3.4.

Tabela 3.3. Produção de café no Brasil e no mundo (Mil sacas de 60 kg) período 1900-2003/04.

Ano/Safra	Brasil	Mundo	Participação Brasil (%)
1900	10.069	15.100	80
1910	10.653	14.350	74
1920	17.116	20.290	84
1930	16.650	25.230	70
1940	15.797	26.500	60
1950	16.754	31.300	54
1960	24.737	67.654	37
1970/74	20.500	59.540	29
1980/81	16.438	86.229	19
1990/91	25.325	100.181	25
1991/92	21.600	104.245	21
1992/93	21.312	92.959	23
1993/94	21.788	92.406	23
1994/95	15.502	97.042	16
1995/96	22.819	88.946	26
1996/97	19.521	103.786	19
1997/98	28.752	97.687	24
1998/99	27.232	108.453	25
1999/00	30.520	113.433	27
2000/01	31.500	116.581	28
2001/02	33.990	110.104	23
2002/03	48.760	119.915	41
2003/04	30.740	101.442	30

Fonte: Anuário Estatístico IBC (até 1980/81); Agrianual 2001 (à partir de 1990/91); Agrianual 2005 (à partir de 1994/95).

O café tem seu valor definido levando-se em consideração a qualidade e há necessidade de valorização ainda maior dos cafés de melhor qualidade, visando estimular o produtor a investir na melhoria qualitativa.

O café destaca-se nas exportações mundiais de matérias-primas agrícolas, superando o patamar dos US\$ 30 bilhões em volume de negócios, quando se considera a cadeia como um todo, segundo VEGRO (1997). Sua importância se amplia, quando se consideram os efeitos multiplicadores representados pelas atividades da cadeia produtiva, como um todo (SÃO PAULO, 1994).

Tabela 3.4- Evolução do consumo interno de café no Brasil, em sacas de 60 kg/ano

ANOS	TOTAL
1990	8.200.000
1991	8.500.000
1992	8.900.000
1993	9.100.000
1994	9.300.000
1995	10.100.000
1996	11.000.000
1997	11.500.000
1998	12.500.000
1999	12.800.000
2000	13.100.000
2001	13.500.000
2002	13.900.000
2003	14.136.000
2004*	14.391.000*

Fonte: IBC/Febec/Embrapa/ESALQ/BM&F/USDA/CECAFÉ/CEPEA-USP/FNP (até 2002) e Previsão FNP (2004).

A tendência de crescimento do consumo vem sendo impulsionada pela expansão econômica dos EUA e países asiáticos, pela popularização do “espresso”, além de campanhas baseadas em cafés de alta qualidade.

CAIXETA (2001) afirma que a cadeia produtiva brasileira do café movimenta cerca de 8,10 bilhões de reais, oriundos da área plantada de 2,485 milhões de hectares e 5,528 bilhões de cafeeiros.

Além do aumento da área plantada, houve extraordinária melhora no manejo dos cafezais já existentes, visando incrementar a produtividade, deixando a média histórica de 9 sacas beneficiadas por hectare, chegando a 15 sacas, em 2003. Dentre as perspectivas de mercado, é fundamental se investir em qualidade do grão, pois os mercados nacional e internacional se devem tornar cada vez mais exigentes. Isso pode ser verificado pelos prêmios, cada vez maiores, pagos aos cafés de qualidade, podendo facilmente elevar os preços de venda em até 20%, melhorando a receita de quem produz.

### **3.2. O cultivar Icatu IAC 2944**

O café arábica possui amplas áreas com ótimo clima para a cultura e produtividade. A diversidade do clima propicia variações nas características de acidez, corpo e aroma da bebida, na medida em que os processos fermentativos sejam controlados ou conduzidos.

O cultivar Icatu foi obtido a partir de uma hibridação entre um cafeeiro tetraplóide de *C. canephora* e uma planta do cultivar Bourbon de *C. arabica*. Os cafeeiros F<sub>1</sub>, com 44 cromossomos, foram selecionados e retrocruzados com cafeeiros selecionados de Mundo Novo e os produtos de três retrocruzamentos foram plantados para avaliação de produção. Vários descendentes dos cafeeiros foram selecionados e, segundo Marques & Bettencourt (1979) apud FAZUOLI (1986), revelaram resistência à maioria das raças fisiológicas de *H. vastatrix*., sendo também indicado como fonte de resistência a nematóides.

A altura média das plantas, com oito anos de idade, varia de 2,5 a 2,9 metros e o diâmetro médio a 1,5 metro do solo, de 2,2 a 2,4 metros. As plantas novas possuem sistema radicular bem desenvolvido, ramos secundários abundantes e os frutos apresentam coloração amarela.

O cultivar vem apresentando boa adaptação, sobressaindo o seu alto vigor, produtividade boa e menor precocidade produtiva, com produções iniciais pequenas, porém com recuperação em prazos mais longos.

### **3.3. Maturação**

O crescimento inicial do fruto do café, até atingir a fase de chumbinho, é muito lento. Desse estágio até a fase de “fruto verde”, o crescimento é acelerado, até ocorrer o endurecimento do endocarpo. Segue-se um período de paralisação no crescimento “ao longo da formação e endurecimento do endosperma”, até o início da maturação, como afirmam GUIMARÃES & MENDES (1996). Na maturação, além da mudança visível de cor, que passa do verde a vermelho ou a amarelo, dependendo do cultivar, o pericarpo

aumenta de volume e o endosperma torna-se mais denso pela deposição de matéria seca, provocando o aumento de tamanho e de peso do fruto, segundo RENA et al. (1986).

A maturação dos frutos se dá, em geral, nos meses de abril-maio, para as regiões mais quentes e no período até julho-agosto, para regiões mais frias.

Sua homogeneidade depende, entre outros fatores, do número de floradas, latitude, altitude, variedade, espaçamento e condições climáticas do ano. Durante o período da colheita, é comum encontrarem-se vários estádios de maturação, tais como: verdes, verdolengos, cerejas, passas e coquinhos. O estádio de maturação denominado “cereja”, da espécie *Coffea arabica* é a matéria prima ideal para a obtenção de um café de fina qualidade.

Devido à grande dificuldade na determinação do ponto de início da colheita, uma vez que a mesma deve ser efetuada com uma porcentagem mínima de frutos verdes e sem que uma grande quantidade de frutos secos tenha-se desprendido da planta, CHALFOUN & CARVALHO (1997) referem-se ao limite máximo de 5% de grãos verdes para seu início, sob pena de ocorrência de prejuízo sobre a qualidade do café. SAMPAIO & AZEVEDO (1989) analisaram a influência de grãos secos na planta, em mistura com grãos cereja do cv. Mundo Novo, e afirmam haver uma tendência de aumento no número de defeitos com o aumento da porcentagem de grãos secos no pé em mistura com grãos cereja, tendo a qualidade da bebida sido alterada a partir da adição de 10% de grãos secos.

### **3.4. Colheita**

Um bom café, segundo MENDES et al.(1995), pode perder a qualidade na colheita, no preparo ou já vir contaminado da lavoura pela presença de microorganismos.

O processo mais recomendado para regiões de altitude elevada e de inverno úmido é a derriça no pano, ou plásticos “ráfia” colocados sobre o chão, com a finalidade de impedirem que os grãos entrem em contato com a terra e com os grãos precocemente caídos, facilitando a abanação para a separação de folhas e ramos, além de evitar a presença de terra, pedras e torrões, facilitando o processo de lavagem.

Os frutos caídos no chão constituem cafés de varrição e devem ser conduzidos separadamente em todo o processamento, pois, em geral, são de qualidade inferior.

Frutos colhidos a dedo (cerejas), apresentam menor ataque de fungos e menores teores de fenólicos ativos (adstringentes) em relação à mistura de grãos, sugerindo a eliminação de grãos inferiores através do despulpamento.

Embora a colheita mecanizada esteja sendo desenvolvida e praticada com alguma intensidade em regiões de topografia plana, segundo SILVA & BERBERT (1999), no Brasil, a colheita é feita basicamente no forma de derrça no pano ou no chão, obtendo-se uma mistura de frutos com diferentes características, principalmente em relação à maturação e umidade, em várias fases pós-colheita, como pode ser observado na tabela 3.5.

**Tabela 3.5- Teores de Umidade nas Diversas Etapas do Café Colhido**

Tipos de Café	Teor de Umidade
Verde	60 - 70%
Cereja	45 - 55%
Passa	30 - 40%
Coco	20 - 30%
Ao ser despulpado	50 - 55%
Teor de umidade do café beneficiado	10 - 12%
Café em coco, seco em terreiro, antes de ser levado à tulha	11 - 12%
Café em terreiro após pré-secagem de 5 a 6 dias antes de ir ao secador	13 - 14%
Umidade de armazenamento de café despulpado já beneficiado	12 - 13%

Fonte: CHALFOUN & CARVALHO (1997)

Analisando a preservação da qualidade do café, sua relação com o número de cafeeiros na propriedade e tipo de manejo a partir da colheita, CHALFOUN & CARVALHO (1996) obtiveram maiores pontuações para processos de colheita no pano, com posterior uso de lavador e realização de secagem mecânica.

O café colhido deve ser abanado no mesmo dia da derrça e, em seguida, levado para a lavagem. A prática tem demonstrado que, quanto maior for o tempo de contato dos grãos com o chão, ou sua permanência na árvore, maior é a incidência de grãos pretos, considerados os piores defeitos do café. Respeitadas as capacidades de lavagem e secagem do café, o sistema de colheita deve ser realizado no menor espaço de tempo possível, evitando-se assim, que a mesma coincida com as floradas do novo ano agrícola.

O processamento do café do tipo cereja descascado, exige uma grande quantidade de grãos nesse estágio, sendo facilitado nos meses iniciais da colheita, devido a sua grande predominância.

### **3.5. Lavagem**

A lavagem do café, mesmo sendo colhido no pano, é indispensável para obtenção de um produto de boa qualidade.

A lavagem é uma operação que tem por objetivos eliminar impurezas e separar o café, segundo sua densidade, em bóias (secos) e cerejas mais os verdes (mais densos), conseguindo-se um café com seca mais uniforme. A separação das impurezas, segundo relatam CHALFOUN & CARVALHO (1997), aumenta a vida útil dos secadores e máquinas de benefício, pela diminuição do processo de abrasão nos mesmos.

MATIELLO (1991) relata que a melhoria da qualidade do café é obtida: pelo processamento separado da fração de cafés cereja, que ainda não sofreram ação de fermentações; pela separação de grãos chochos, mal granados ou brocados (em grau adiantado), reduzindo, assim, os grãos defeituosos da parcela de cafés pesados; e pela seca mais uniforme dos grãos. LUZIN et al. (1989) e SILVA & BERBERT (1999) avaliaram a utilização de lavadores e secadores mecânicos, tendo concluído que o uso de lavadores mecânicos permitem a obtenção de cafés de qualidade, melhor preferência para comercialização, menor consumo de água e menor uso de mão-de-obra. Os lavadores mecânicos, por serem compactos, ocupam menor espaço, além de poderem ser remanejados ou comercializados, pelo produtor.

Segundo THOMAZIELLO et al. (1996), nesta fase, o café pode ser preparado por via úmida ou por via seca. No processo “via úmida”, os cafés bóias são secos ou pré-secos em terreiros e então encaminhados a secadores. Os cafés cerejas e os verdes são encaminhados para o despulpamento, sendo os cerejas, descascados; e os verdes, separados para serem secos em terreiros.

No preparo por via seca, após a separação, pela lavagem, em bóias e cerejas mais os verdes, ambos são secos separadamente em terreiros ou pré-secos nos mesmos, sendo a secagem completada em secadores mecânicos.

O processamento de café por via úmida, do tipo cereja descascado é, segundo MENDES et al. (1995), considerado intermediário, por ter sua polpa retirada, sem a remoção, a princípio, da mucilagem.

### **3.6. Despolpamento e Desmucilagem**

O despolpamento compreende a separação da polpa (casca mais parte da mucilagem aderida a ela), presentes nos grãos durante o estágio denominado cereja, obtendo-se o café despolpado, compreendido pelo endosperma, pergaminho e uma quantidade remanescente de mucilagem. Este processo é normalmente realizado por despolpadores mecânicos dotados de um cilindro giratório recoberto por uma “camisa” que aprisiona os frutos, pressionando-os contra uma barra de borracha e, com o auxílio da propriedade lubrificante da mucilagem, separam a casca dos grãos envolvidos pelo pergaminho (IBC-GERCA, 1985, SERRANO, 1995. e MATIELLO, 1999).

Para a obtenção do café denominado despolpado, os grãos são submetidos a processos de fermentação natural, para eliminação do restante da mucilagem aderida ao pergaminho.

Este processo é indicado para regiões de inverno úmido, pela dificuldade de manipulação dos grãos no terreiro, e recomenda que o mesmo seja realizado dentro de, no máximo, 24 horas após a colheita.

Este método de preparo é muito utilizado por produtores da América Central, México, Colômbia e Quênia, alcançando boas cotações no mercado. Segundo CHALFOUN & CARVALHO (1997), outras vantagens deste método são a diminuição da área de secagem (redução de 60% do volume), e a redução no tempo de secagem, não só por ser um café uniforme, como também por apresentar um teor de umidade mais baixo (em torno de 50%).

BARBOZA & AMAYA (1996), analisando a qualidade do grão e da bebida do café var. Caturra em função do tempo de fermentação da mucilagem, se referiram à necessidade de controle total da fermentação, para se evitar a sobrefermentação dos grãos, uma vez que este processo depende das condições climáticas. OLIVEROS-TASCÓN & GUNASEKARAN (1995), verificando a potência necessária e a taxa média de deformação dos grãos submetidos à desmucilagem mecânica dos grãos de café, citaram que o processo de fermentação permite a obtenção de cafés de alta qualidade, quando realizado sob controle freqüente, uma vez que se deixa de exportar grandes quantidades de café devido a defeitos de qualidade em taxas atribuídas à sobrefermentação do café.

BRANDO (1992) citou as principais vantagens do sistema “cereja descascado” e, expondo os resultados dos dois primeiros anos do sistema, confirmou a superioridade dos cafés obtidos por este processo, observando a necessidade de se eliminar a pré-secagem em terreiros e de estudos para a determinação do tempo pelo qual estes grãos em pergaminho podem permanecer armazenados. No processamento do café do tipo cereja descascado, após o despulpamento, a mucilagem restante não é retirada.

Já para a obtenção do café do tipo cereja descascado e desmucilado, o restante da mucilagem aderida ao pergaminho é retirado mecanicamente, em desmucilador . Segundo SERRANO (1995), a desmucilagem mecânica consiste na retirada da mucilagem remanescente aderida à parede externa do pergaminho, com as finalidades de facilitar e baratear o processo de secagem, uma vez que, devido a sua natureza coloidal, retém tenazmente a água, dificultando e encarecendo a secagem. A retirada da mucilagem é feita pelo atrito e abrasão entre os grãos que, em fluxo ascendente e presença de água, passam por uma árvore metálica, promovendo seu desprendimento.

A desmucilagem somente estará concluída quando a mucilagem estiver completamente desprendida do pergaminho. Esse reconhecimento é feito quando uma porção de grãos, esfregados à mão, não mais escorregam, dando a sensação de aspereza entre os mesmos.

LEITE & SILVA (2000) citam que a rápida eliminação da casca e da mucilagem, por serem fontes de fermentação e retardarem a secagem, facilita a obtenção de cafés de boa bebida, independentemente da zona de produção e, quando bem preparados, são sempre

classificados como de bebida de alto valor comercial, independente da região de produção.

CORTEZ et al. (1997) analisaram os sistemas de colheita e processamento de café de montanha no leste mineiro e suas influências sobre a bebida e industrialização, resultando em melhores processamentos os que envolveram grãos cereja-descascados, considerando ainda a grande sensibilidade à deterioração da qualidade do café, quando a secagem se completa ainda no terreiro.

TAGLIALEGNA & FAVARIN (1998), avaliando os custos de vários métodos de preparo, secagem e beneficiamento de café, concluíram que, até a etapa de secagem, o tipo cereja descascado, verde natural e bóia natural apresentou o menor custo, quando comparado aos demais métodos, principalmente devido ao menor volume ocupado no secador por unidade de saca beneficiada.

CAIXETA (1999) recomenda, dentre a segmentação de mercado de café, a promoção da qualidade do café cereja descascado, por ser mais forte, principalmente na Itália, Japão e Estados Unidos.

VIEIRA & CARVALHO (2000) destacam, entre as tendências futuras nos sistemas de produção de café, a utilização de métodos de preparo que deem mais segurança para obtenção de alta qualidade, como o cereja descascado, apesar de exigir um controle de qualidade mais aperfeiçoado, para sua obtenção.

### **3.7. Pré-secagem**

Se o café cereja em processamento não for do tipo despulpado (com fermentação prévia da mucilagem) ou desmucilado (com sua retirada mecânica), obrigatoriamente terá de passar um período no terreiro, com a finalidade de reduzir sua umidade, antes de ser destinado à secagem mecânica. A desmucilagem mecânica permite o encaminhamento do café após a simples drenagem da água utilizada nos processos de lavagem, despulpamento e desmucilagem, o que pode ocorrer em períodos inferiores a 12 horas.

CHALFOUN & CARVALHO (1997) se referem ao período de pré-secagem em terreiro, para cafés despulpados, em torno de 2 a 3 dias. A não realização desta etapa,

implica a formação de aglomerados de grãos, pela presença de mucilagem, ao longo da secagem mecânica, dificultando a homogeneização do produto.

Para cafés preparados por via seca, ou seja, sem a retirada da casca, o período de pré-secagem em terreiro deve ser, conforme recomendações de MENDES et al. (1995), de 6 dias, no mínimo e de MATIELLO (1991), de 3 a 7 dias.

### **3.8. Secagem mecânica**

Segundo THOMAZIELLO et al. (1996), a secagem correta é fator de importância na obtenção de um produto de boa qualidade.

FERRAZ E VEIGA (1960), afirmam serem 6 os fatores que afetam a qualidade da bebida do café: grau de maturação, variedade, tempo decorrido entre a colheita e o início da secagem, influência do primeiro tratamento térmico, temperatura e velocidade de secagem.

Apesar dos ventos e da energia solar não apresentarem custos reais, o baixo rendimento dessa energia exige o uso de grandes áreas de terreiro e um grande número de horas de trabalho.

Estudos sobre as causas da mudança de coloração de grãos de café na secagem, mostraram que a secagem ao sol causou uma degradação fotoquímica parcial dos pigmentos verdes por estes produzidos. Dessa forma, segundo RENA et al. (1986), a remoção da água dos grãos até a redução do teor de umidade para 11 a 12%, pode ser conduzida em secadores mecânicos.

Os secadores podem ser horizontais rotativos intermitentes, do tipo barçaça ou modelo Viçosa, ou verticais com câmara de repouso.

Além da redução no tempo de secagem, a utilização de secadores viabiliza a secagem em regiões úmidas e em períodos de chuva.

Para que a qualidade do café seja mantida, RENA et al. (1986) indicam a necessidade de controle da temperatura da massa de grãos ao longo do processo de secagem, além do abastecimento dos secadores com partidas homogêneas de grãos,

Ao estudar a otimização energética em operações pós-colheita de café, BARROS et al. (1994) concluíram que a secagem mecânica, considerados os tipos de secadores horizontais e verticais, representa 80% do consumo total de energia elétrica, sendo diretamente influenciada pela umidade inicial do café, a temperatura de secagem, a uniformidade dos lotes e a forma de carregar o secador; suas avaliações permitiram também concluir que 90% dos cafés processados mecanicamente apresentaram excelente qualidade.

MENDES et al. (1995) declaram que o mau uso de secadores deprecia o aspecto e o tipo do café, acarretando uma redução de aproximadamente 15% do valor do produto, referindo-se à necessidade da existência de 2 termômetros nos secadores mecânicos, sendo um destinado à leitura da temperatura do ar de secagem junto ao ventilador e o outro junto à massa de grãos, na câmara de secagem.

PRETE et al. (1995) avaliaram o efeito da temperatura de secagem, em estufa com circulação forçada de ar, de frutos de café colhidos nos estádios de maturação cereja e verde. Observaram que a secagem dos frutos colhidos no estádio cereja independente da temperatura de secagem, resultou em grãos normais, com pequeno número de defeitos, e obtiveram alteração na qualidade da bebida, nos grãos submetidos à secagem artificial, com a temperatura de 60°C na massa de grãos.

Por ser mais sensível às variações do ambiente que os cafés preparados por via seca, CHALFOUN & CARVALHO (1997) fazem referência à necessidade de descanso do café despulpado, após a secagem, em tulhas com boas condições de armazenagem, a fim de lhe conferir aspecto uniforme e cor azulada, características dos bons despulpados.

Ao estudar a deterioração pós-colheita do café, GODINHO et al. (1998) sugeriram que o embranquecimento nos grãos possa ser devido à alta temperatura da massa de grãos (próxima de 60°C), relacionando a desuniformidade da cor dos grãos ao manejo inadequado em secadores a altas temperaturas.

### **3.9. Secadores horizontais rotativos**

Possuem capacidade de carga entre 1.600 e 15.000 litros de café e são também conhecidos como pré-secadores, por poderem receber cafés bóias ou cerejas ainda úmidos, e os descascados e desmucilados, após serem submetidos à drenagem da água resultante dos processos de lavagem e despulpamento.

De acordo com VIEIRA (1994), o secador rotativo realiza secagem contínua, por não apresentar câmara de descanso, sendo 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.

Segundo BÁRTHOLO et al. (1989) e CHALFOUN & 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 grãos durante o processo de secagem.

Dadas as características construtivas e por serem de carga fixa, CUNHA & SERÔDIO (1991) afirmam que a carga de 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.

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.

Ensaio sobre secagem de café cereja descascado em secador rotativo realizados por CUNHA et al. (1995), se referem à condição necessária de baixa temperatura do ar de secagem e da massa de café ao longo do processo, para se obter café de qualidade.

OCTAVIANI (2000), realizou secagens de café cereja descascado desmucilado em secador horizontal rotativo, com temperaturas médias do ar de secagem que variaram entre 66,1 e 106,4°C e respectivas temperaturas médias da massa de grãos entre 40,2 e 53,2°C, e o resultado da análise sensorial pode ser observado na tabela 3.6.

Tabela 3.6- Variações nas secagens e efeitos sobre a bebida do café.

Secagem	T°C do ar de secagem (°C)	T°C média na massa (°C)	Seca	Cor	Aspecto	Bebida
1	80,8	51,9	80,00a	80,00a	80,00a	Dura
2	101,7	43,5	82,75abc	84,00ab	84,50ab	Dura
3	89,5	51,1	80,00a	80,00a	80,00a	Dura
4	100,1	43,2	80,00a	81,75ab	82,75ab	Dura
5	66,1	45,0	80,00a	80,00a	80,00a	Dura
6	77,4	40,2	91,00d	91,00b	90,50b	Dura*
7	87,8	50,6	90,00bcd	90,25ab	90,50b	Dura
8	83,8	40,8	90,50cd	91,25b	89,50b	Dura
9	93,3	55,7	90,50cd	88,50ab	87,00ab	Dura
10	96,5	43,7	90,00bcd	89,75ab	87,50ab	Dura
11	106,4	53,2	83,25abcd	84,50ab	83,75ab	Dura
12	98,2	42,2	82,25ab	83,25ab	82,50ab	Dura

Médias seguidas de letras diferentes, na vertical, diferem entre si pelo teste de Tukey (5%)

Fonte: OCTAVIANI (2000) \*A bebida foi considerada mole em uma das repetições.

### 3.10. Parâmetros de secagem

#### 3.10.1. Temperatura

A temperatura do ar de secagem exerce influência direta no tempo total do processo, no consumo de combustível e energia elétrica.

OCTAVIANI (2000), avaliou secagens de café cereja descascado desmucilado em secadores horizontais rotativos e constatou que maiores temperaturas do ar de secagem proporcionaram menores consumos de GLP, de energia elétrica e, quando combinadas com maiores fluxos de ar, menores tempos de secagem.

OSÓRIO (1982), estudando secador intermitente de fluxos concorrentes para café com temperaturas do ar de secagem de 80, 100 e 120°C, observou que os fatores que mais exerceram influência no tempo de secagem foram: temperatura de secagem, teor de umidade inicial e final e vazão do ar, com efeito mais pronunciado na temperatura.

IBC-GERCA (1985) e THOMAZIELLO et al. (1996) recomendam o procedimento da secagem com temperaturas não superiores a 45°C na massa de café, para obtenção de boa qualidade, não ultrapassando, no início da seca, 30-40°C e 30°C, respectivamente, devido à presença de frutos ainda verdes, o que poderia transformá-los

em “preto-verdes”, pela oxidação da película prateada piorando o aspecto, o tipo e a bebida do café.

Um ensaio de secagem com cafés verdes, citado por RENA et al. (1986), com temperaturas na massa de grãos variando de 30 a 60°C, resultou em 2,26% de grãos pretos para 30°C; 21,5% para 40°C; 51,20% para 50°C e 100% para 60°C.

CHALFOUN & CARVALHO (1997) afirmam que temperaturas superiores a 45°C na massa de café, além de provocar o aparecimento de grãos preto-verdes, caracterizados pela coloração preta-brilhante, podem ainda causar o branqueamento do café.

BARTHOLO et al. (1989), descrevendo os cuidados na secagem do café cereja sem pré-secagem, se referiram à necessidade de manter a temperatura do ar quente abaixo de 60°C até a condição de meia seca (30% bu) na massa de café, devendo-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.

GUIDA (1994), analisando a influência da temperatura na secagem de cafés despulpados em secador experimental de camada fixa, concluiu que o tempo de secagem diminuiu consideravelmente com o aumento da temperatura, independente da altura da camada de café, sendo que o tempo, à temperatura de 45°C foi sempre maior que o dobro do tempo à temperatura de 70°C, ressalvado o aspecto do café, que foi ruim a esta temperatura, em todas as camadas.

IBC (1985) apud VIEIRA (1994) relata que não se deve ultrapassar de 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.

Silva et al. (1992) apud VIEIRA (1994) desenvolveram e analisaram um secador intermitente de fluxo contracorrente para café. utilizando temperaturas do ar de secagem de 60, 80 e 100°C e recomendam a temperatura de 100°C, em razão do menor tempo de secagem, consumo de combustível e da não constatação dos efeitos da temperatura sobre a qualidade final do produto.

Ruiz Aguas (1988) apud GUIDA (1994) revela 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 no grão.

BORÉM & REINATO (2004), estudaram a distribuição da temperatura e umidade no sentido radial de secadores rotativos, com utilização de lenha e GLP e observaram que os valores da temperatura no plenum apresentaram menor oscilação com a utilização de GLP.

### **3.10.2 Fluxo de ar**

Em algumas operações, como a secagem e a aeração, os aspectos de engenharia relacionados ao fluxo de ar são, de acordo com ATHIÉ et al. (1998), fundamentais para a seleção de equipamentos e dimensionamento de sistemas de ventilação.

Segundo SILVA & BERBERT (1999), nos secadores em que a secagem é realizada por meio de fluxo de ar, a característica do conjunto de ventilação é de suma importância para o bom funcionamento do sistema, devendo ele ser projetado para vencer a resistência oferecida pelo produto, a uma determinada temperatura, à passagem de um determinado fluxo de ar.

Os secadores rotativos são caracterizados por apresentarem o fluxo de ar sem intermitência, consistindo no movimento dos grãos dentro do secador, de forma concorrente, contracorrente e/ou cruzada, (KREYGER, 1973; LASSERAN, 1979 e BROOKER et al., 1992).

De acordo com a atuação do ar aquecido, a secagem nestes equipamentos pode ser considerada como intermitente, pois há ocorrência de intervalos regulares sem aquecimento, caracterizando períodos de repouso, como os descrevem (TOLEDO & MARCOS F.º, 1977, PUZZI, 1986 e BROOKER et al., 1992).

OCTAVIANI (2000) realizou secagens de café cereja descascado com utilização de diferentes fluxos de ar, em secadores horizontais e concluiu que o aumento no fluxo do ar de secagem, consideradas as mesmas condições ambientais, reduziu sensivelmente o tempo de secagem do café.

VIEIRA (1994) e VIEIRA & VILELA (1995), analisando a secagem intermitente de café em secador experimental de camada fixa, concluíram que o fluxo de ar tem maior

efeito em diminuir o tempo total de secagem, sendo mais significativo em parcelas submetidas a menores períodos de repouso.

Analisando a influência do fluxo de ar na secagem de café despulpado em secador experimental de camada fixa, GUIDA (1994) concluiu que o fluxo de ar influenciou o tempo total de secagem e o tempo de secagem no secador, sendo que este tempo no menor fluxo de ar foi sempre maior que o dobro para o fluxo de ar maior, em todos os períodos de descanso, porém, prejudicando o aspecto do café.

RIBEIRO et al. (2003) determinou a taxa de redução de água em secagens de café cereja descascado, em função da temperatura da massa, do fluxo de ar e do período de pré-secagem em terreiro e concluiu que a maior taxa de redução se deu com a aplicação de maiores temperaturas e fluxos do ar.

Segundo Ashrae (1996), apud MOREIRA (1999), a pressão barométrica local pode ser expressa pela equação 3.2.

De acordo com DWYER (1992), o ar de secagem pode ter seu fluxo determinado a partir do conhecimento da sua pressão de velocidade, pelas equações 3.1, 3.3 e 3.4.

$$V_{ar} = 893,03 * \sqrt{P_v/D} \quad (\text{equação 3.1})$$

onde:

$V_{ar}$  = Velocidade do ar, (m.min<sup>-1</sup>)  
 $P_v$  = Pressão dinâmica, (cm.H<sub>2</sub>O)  
 $D$  = Densidade do ar, (kg\*m<sup>-3</sup>)

$$P_b = 101,325 * (1 - 2,25577 * 10^{-5} * L)^{5,2559} \quad (\text{equação 3.2})$$

onde:

101,325 = Pressão barométrica ao nível do mar, (kPa)  
 $P_b$  = Pressão barométrica local, (kPa)  
 $L$  = Altitude, (m); válida para (-500 até 11.000m)

$$\rho_{ar} = 3,48 * (P_b / T) \quad (\text{equação 3.3})$$

onde:

$$\begin{aligned} \rho_{ar} &= \text{Densidade do ar, (kg.m}^{-3}\text{)} \\ P_b &= \text{Pressão barométrica, (kPa)} \\ T &= \text{Temperatura absoluta, (}^{\circ}\text{C + 273,15)} \end{aligned}$$

$$F_{ar} = A_d * V_{ar} \quad (\text{equação 3.4})$$

onde:

$$\begin{aligned} F_{ar} &= \text{Fluxo de ar, (m}^3\text{.min}^{-1}\text{)} \\ A_d &= \text{Área do duto, (m}^2\text{)} \\ V_{ar} &= \text{Velocidade do ar, em (m*min}^{-1}\text{)} \end{aligned}$$

### 3.10.2.1. Rendimento do sistema de ventilação

De acordo com BROD & PARK (1998), o rendimento, representado pela equação 3.7, é o valor percentual da potência útil, que representa o valor eficaz da potência que o ventilador fornece ao sistema, representada pela equação 3.5, sobre a potência elétrica, correspondente ao valor da potência consumida pelo ventilador, representada pela equação 3.6, e indica o quanto da potência fornecida é utilizada.

$$P_{\text{útil}} = Q \cdot \Delta P \quad (\text{equação 3.5})$$

onde:

$$\begin{aligned} P_{\text{útil}} &= \text{Potência útil, (W)} \\ Q &= \text{Fluxo do ar, (m}^3 * \text{s}^{-1}\text{)} \\ \Delta P &= \text{Pressão estática no ventilador, (Pa)} \end{aligned}$$

$$P_{\text{elet.}} = V \cdot I \cdot \sqrt{3} \cdot \cos\phi \quad (\text{equação 3.6})$$

onde:

$P_{\text{elet.}}$  = Potência elétrica, (W)

V = Voltagem, (220 V)

I = Corrente elétrica (A)

$\cos \phi$  = Diferença de fase (0,8)

$$\text{Rendimento}(\%) = \frac{\text{Potência útil}}{\text{Potência elétrica}} \cdot 100 \quad (\text{equação 3.7})$$

### 3.10.3. Umidade do produto

Em regiões muito úmidas, o café aumenta sua umidade quando armazenado e sofre o embranquecimento e aumento do volume dos grãos, chegando a estourar a sacaria, de acordo com IBC-GERCA (1985).

Teores de água abaixo do adequado também são prejudiciais, pois, uma quantidade de água deixa de ser comercializada, diminuindo o rendimento do produto e o lucro do produtor, além de, por ocasião do beneficiamento, aumentarem sensivelmente o número de grãos quebrados, por perda de viscoelasticidade, aumentando o número de defeitos e, em conseqüência, influenciando para pior na classificação do café por tipo.

Segundo MATIELLO (1991), no ponto final de seca, os grãos beneficiados devem ter 12% de umidade, verificado, na prática, pela facilidade com que os frutos se descascam e a película prateada se solta. THOMAZIELLO et al. (1996), referem-se ao término da seca, ao se atingir 11 a 12% de umidade.

O teor de água pode ser verificado através do uso de determinadores de leitura direta, durante e ao final da secagem, momento em que, de acordo com IBC-GERCA (1985), o café perde de 1 a 2% de umidade, principalmente quando a massa ainda estiver quente.

MENDES et al. (1995) recomendam o recolhimento do café seco em secadores rotativos horizontais, ainda quente, para a tulha, com 12 a 14% de umidade.

O café 1% mais seco que o normal, segundo CHALFOUN & CARVALHO (1997), representa uma perda de 600 gramas/saca. Referindo-se aos métodos empíricos utilizados para a verificação da umidade dos grãos, que podem levar a erros de 1 a 2%, recomendam sua verificação, utilizando-se determinadores de umidade, afirmando que o teor de umidade final para o armazenamento deve ser de 10 a 12%. Sugerem a realização de testes, para verificação das temperaturas e umidade ideais de retirada dos grãos após a secagem a cada propriedade agrícola, devido a diferenças nos tipos de secadores e na estrutura de armazenagem.

Entre os métodos de determinação de umidade de grãos, o da estufa a  $105 \pm 3^\circ\text{C}/24\text{h}$  (BRASIL, 1992), embora não sendo aplicável em condição de campo, devido principalmente às características dos equipamentos utilizados, é de grande confiabilidade em nível laboratorial onde, por diferença de peso dos grãos, a umidade é obtida através da equação 3.14:

$$\% U (\text{bu}) = \frac{(P_c + P_u) - (P_c + P_s)}{P_u} * 100 \quad (\text{equação 3.14})$$

onde:

U (bu) = Umidade base úmida (%)

P<sub>c</sub> = Peso do cadinho vazio, (g)

P<sub>u</sub> = Peso dos grãos de café úmidos, (g)

P<sub>s</sub> = Peso dos grãos de café secos, (g)

### **3.11. Fontes de energia**

#### **3.11.1. Gás Liqüefeito de Petróleo (GLP)**

A principal vantagem na utilização do GLP é a possibilidade de ser transportado na forma líquida, o que não pode ser realizado com o gás natural. Isto se deve ao fato de possuir a característica de liqüefazer-se a pressões moderadas, tornando fácil, econômica e cada vez mais ampla sua distribuição (EGSA, s.d. e CAMPOS & LAGE, 1977)

Dado o seu alto poder calorífico, de  $46.055 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$  ( $11.000 \text{ kcal}\cdot\text{kg}^{-1}$ ), o GLP apresenta grandes vantagens sobre os combustíveis sólidos ou líquidos. Sob o ponto de vista segurança, sua utilização é relativamente cômoda, já que é constituído de hidrocarbonetos que possuem pressão de vapor relativamente baixa (entre 5,6 e  $15,0 \text{ kgf}\cdot\text{cm}^{-2}$ ), conforme a predominância de butano ou de propano, o que possibilita o transporte em recipientes de aço mais leves (CAMPOS & LAGE, 1977). Tal mistura de gases se torna ideal, por apresentarem limites de inflamabilidade muito próximos.

A densidade relativa do propano é de 1,522 e do butano, de 2,006; ou seja, para uma temperatura de  $15,5^{\circ}\text{C}$ , 1 litro de propano pesa 508,9g e de butano, 528,4g o que torna, segundo EGSA (s.d.) necessária uma corrente de ar para que o GLP se dissipe, na atmosfera.

Por apresentar queima limpa, composição uniforme, transporte e estocagem fáceis, baixo teor de enxofre não corrosivo e alto poder calorífico, o GLP é particularmente indicado e adequado, como fonte de aquecimento.

CLIFFORD (1962) relata que na América do Norte, o GLP tem aplicações agrícolas desde a década de 40, em aquecimento de aviários, desidratação, secagem de tabaco, alfafa e grãos, propulsão de motores de tratores e bombeamento para irrigação.

Segundo THOMAS (1965), 75% do GLP comercializado no mundo é extraído do gás natural, sendo o restante obtido em refinarias de petróleo e de vapores líquidos resultantes do processamento do óleo cru.

Em estado gasoso, o poder calorífico do propano, nas condições de 1 atmosfera de pressão e 20°C, é de 72.750 kJ\* m<sup>-3</sup> (17.375 kcal\* m<sup>-3</sup>) e do butano, de 95.800 kJ\* m<sup>-3</sup> (22.880 kcal\* m<sup>-3</sup>).

Para o GLP à temperatura de 15,5°C e 1 atm, a temperatura da chama é de 1.980°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.

Quando não há disponibilidade de utilização de registradores de leitura direta, fluxo do gás utilizado normalmente é medido por rotâmetros, sendo os cilíndricos, de vidro e recobertos por proteção metálica, de acordo com HAYWARD (1981), referenciais para medições de água, ar ou líquidos de baixa viscosidade, podendo ser obtido pela equação 3.8 (SANTOS, 1988; SANTOS & TAIRA, 1995 e MATSUMOTO, 1999).

$$Q = Q_{\text{medida}} * \sqrt{\frac{P + 1,013}{2,513}} * \sqrt{\frac{298,15}{T + 273,15}} * \sqrt{\frac{2,05}{d^r}} \quad (\text{equação 3.8})$$

onde:

Q = vazão instantânea de GLP, (kg\*h<sup>-1</sup>)

Q<sub>medida</sub> = vazão lida no rotâmetro, (kg\*h<sup>-1</sup>)

P = pressão manométrica real no rotâmetro, (kgf\*cm<sup>-2</sup>)

T = temperatura do GLP, (°C)

d<sup>r</sup> = densidade real do GLP, (adimensional)

1,013 = pressão atmosférica, em Kgf\*cm<sup>-2</sup> ( constante utilizada p/ converter pressão atmosférica em absoluta)

2,513 = pressão absoluta de aferição dos rotâmetros ( 1,5 kgf\*cm<sup>-2</sup> manométricos)

298,15 = temperatura absoluta de aferição dos rotâmetros (25°C)

273,15 = constante utilizada p/ conversão de °C para °K

2,05 = densidade normal do GLP utilizada para aferição dos rotâmetros (equivalente a mistura com 50% de butano e 50% de propano)

Os queimadores são equipamentos que possuem , segundo REED (1983), as funções primárias de estabelecer o posicionamento e tipo de chama, bem como de manter a ignição contínua ou intermitente, segundo a seleção de uma mistura prévia ar/combustível.

PORTELLA & EICHELBERGER (2001) avaliaram avaliar o desempenho de um secador estacionário de leito fixo, usando-se gás liquefeito de petróleo (GLP) em secagens de milho e concluíram que a taxa de retirada de água dos grãos durante a secagem foi tanto mais elevada quanto mais elevados foram a temperatura do ar de secagem e a umidade inicial dos grãos e que o consumo horário médio de GLP aumentou somente em função da temperatura de secagem.

GARCIA et al. (1998), estudando a secagem de café com queimadores a gás em secador vertical, concluíram que o sistema é prático e funcional, sendo que o queimador da marca Ecoflam, por possuir termostato, foi ligeiramente mais rápido em relação ao da marca Rayburners, sem citar os respectivos modelos, como se observa na tabela 3.7 e, em termos econômicos, o custo do gás consumido nas secagens foi semelhante ao custo da lenha, baseando-se em trabalho de Nogueira et al. (1987), que obtiveram um consumo de 0,2208 m<sup>3</sup> de lenha por hora de secagem.

REINATO et al. (2003), avaliaram tecnicamente queimadores de GLP em secagens de café e observaram que a utilização dos mesmos, de forma contínua, ao longo do processo de secagem, resultou em maior eficiência e menor tempo de secagem, além de redução de 14,3% no custo total do processo.

Tabela 3.7- Média do comportamento de secagens com 2 tipos de queimadores.

Queimador	Umidade do café (% bu)			Consumo de GLP (kg)	Tempo gasto (h)	Consumo de GLP (kg*h <sup>-1</sup> )	Umidade Perdida *hora <sup>-1</sup>
	Inicial	Final	Diferença				
Rayburner	20,79	11,66	9,13	71	14:40	5,00	0,60%
Ecoflam	21,04	11,53	9,52	60	12:10	4,97	0,73%

Fonte: GARCIA et al.(1998)

OCTAVIANI & BIAGI (2000) analisaram o consumo de GLP em secagens de café em secadores horizontais rotativos SRE 075 sob diferentes condições de fluxo e temperatura e os resultados podem ser observados na tabela 3.8

Tabela 3.8- Consumo de GLP em diferentes condições de secagem de café.

Seca	Fluxo de ar ( $\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ )	T <sup>o</sup> do ar (°C)	Água removida (%)	Tempo secagem (h)	Consumo médio de GLP ( $\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$ )	Consumo total de GLP (kg)
1 + 3	83.9	85.2	37,25	30,5	6,49a	203,49a
2 + 4	103.1	100.9	38,16	20,8	8,38a	180,26a
5 + 7	82.4	77.0	32,68	31,0	7,33a	232,34a
6 + 8	100.9	80.6	38,12	27,8	7,84a	222,98a
9 + 11	86.5	99.9	37,30	21,5	7,71a	179,52a
10 + 12	105.6	97.4	35,00	18,8	8,70a	172,36a

Médias seguidas de letras diferentes, diferem entre si pelo teste de Tukey (5%).

Fonte: OCTAVIANI & BIAGI (2000)

### 3.11.2. Lenha

Além de apresentar baixo custo, fácil combustão e baixo teor de cinzas, é largamente utilizada em secagem de alimentos devido ao seu baixo teor de enxofre.

Segundo LOPES et al. (2000), sua massa específica varia de 250 a 450  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ , dependendo da espécie e seu poder calorífico inferior, em função do teor de umidade, varia de 6.483  $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ , com 60% de umidade, até 19.880  $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ , com ausência de umidade. O poder calorífico inferior de algumas espécies de madeira, pode ser observado na tabela 3.9.

Tabela 3.9 – Poder calorífico inferior de algumas espécies de madeira.

Espécie	PCI ( $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ )
Eucalipto	19.228
Pinho	20.482
Cedro	18.066
Cipreste	21.443
Carvalho	19.500

Fonte: Silva, J. de S. e et al. (2000)

O fato da não existência de uma política energética bem definida, no Brasil, torna difícil a opção por uma fonte de energia confiável, para a alimentação de secadores e, no caso da lenha, é mister que esta seja provinda de florestas energéticas (SILVA et al. 2000).

O principal inconveniente na utilização da lenha, como combustível em secagens de café, é a entrada dos gases da combustão na massa de grãos, contaminando-os ou

prejudicando sua qualidade; no entanto, NOGUEIRA (1986) relata que esses fatores não ocorrem, quando o fogo for indireto, a lenha estiver bem seca e a combustão for perfeita.

Atualmente, a quase totalidade dos secadores está operando com esse tipo de combustível e, segundo SILVA & BERBERT (1999), a lenha deve ser bem seca e de tamanho compatível com a abertura para carga da fornalha pois a queima da lenha úmida, além de ser ineficiente, pode transmitir cheiro do material em combustão ao café.

De acordo com LOPES et al. (2000), a presença de umidade nos combustíveis sólidos destinados à queima em fornalhas, resulta em menor saldo de energia para a secagem, pela subtração de calor pela água evaporada, razão pela qual a umidade da lenha deve ser inferior a 30%.

SOBRINHO et al. (2000) estudando a viabilidade da secagem de café usando GLP, lenha de eucalipto e palha de café, obtiveram custo de secagem quatro vezes inferior com a utilização da lenha de eucalipto, em relação ao GLP, embora com menor eficiência energética, sem alteração na qualidade do café.

Segundo PINHALENSE (1994), fornalhas que fornecem entre 655.200 e 936.000  $\text{kJ}\cdot\text{h}^{-1}$ , apresentam um consumo de lenha entre 0,16 e 0,23  $\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ .

### **3.12. Custo de secagem**

Segundo SILVEIRA et al. (2000), quando se consideram o alto custo de energia e os baixos preços dos produtos agrícolas, torna-se indispensável conhecer, pelo menos, o consumo energético e a qualidade do produto depois de seco.

VIEIRA et al. (1998), estudando secagens de café em três secadores comerciais intermitentes de fluxo cruzado, concluíram que o menor consumo específico de energia elétrica correspondeu aos modelos com maiores câmaras de repouso e menores fluxos de ar.

CALDAS & MATIELLO (2000), analisando a viabilidade econômica do uso de GLP associado ao vapor de caldeira em secagens de café conillon, obtiveram redução de 15,74%, somando-se os gastos com energia, mão-de-obra e GLP, apesar do alto custo

deste último, principalmente devido ao menor tempo de secagem, por volume de café seco.

OCTAVIANI (2000) analisou o custo com GLP e energia elétrica em secagens de café cereja descascado em secadores SRE-075 e obteve valores menores relativos ao GLP nas secagens que utilizaram maiores fluxos e temperaturas do ar de secagem e valores maiores para a energia elétrica, nas mesmas condições, em função da maior potência do motor utilizado, e os resultados podem ser observados na tabela 3.10.

Tabela 3.10 – Custo energético e qualidade da bebida em 12 secagens de café.

Secagem	Fluxo de ar ( $\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ )	Temperatura do ar ( $^{\circ}\text{C}$ )	Duração (h)	Energia Elétrica (R\$)	Custo GLP (R\$)	Total (R\$)	Bebida
1	86.1	80.8	30.0	15.01	123.52	138.53	Dura
2	105.2	101.7	19.0	13.36	122.61	135.97	Dura
3	81.6	89.5	31.0	15.49	165.88	181.37	Dura
4	101.0	100.1	22.5	15.74	130.09	145.83	Dura
5	83.1	66.1	40.0	19.86	220.17	240.03	Dura
6	99.5	77.4	28.0	19.47	159.02	178.49	Dura
7	82.9	87.8	22.0	11.13	114.35	125.48	Dura
8	102.3	83.8	27.5	19.13	158.59	177.72	Dura
9	85.1	93.3	22.0	11.13	119.33	130.46	Dura
10	106.8	96.5	18.5	13.02	115.74	128.76	Dura
11	87.8	106.4	21.0	10.64	122.33	132.97	Dura
12	104.4	98.2	19.0	13.36	122.47	135.83	Dura

Fonte: OCTAVIANI (2000),

CARDOSO SOBRINHO et al (2001), avaliando sistemas de secagem de café com utilização de lenha e GLP em secadores verticais e horizontais rotativos, observaram que os menores consumos específicos de energia foram obtidos nas secagens que utilizaram GLP, em secadores horizontais rotativos.

REINATO et al. (2003), fizeram uma avaliação econômica em secagens de café que utilizaram lenha e GLP e concluíram que em termos de combustível, o custo do GLP foi 4,5 vezes maior que o da lenha, embora o custo total de secagem não tenha apresentado diferença significativa, com a utilização dos dois combustíveis.

SILVA et al. (2001), estudaram o consumo específico de energia e a eficiência energética em secagens de café em secadores verticais e horizontais rotativos e concluíram que a secagem em secador horizontal, seguida pelo uso do secador vertical

apresentou menor consumo específico de energia, sendo mais eficiente, energeticamente, que a secagem feita integralmente em secador horizontal.

De acordo com HELLEVANG & REFF (1990), as categorias de custo envolvidas na secagem de grãos são: custo energético, que varia com a quantidade de água removida; custo de trabalho e o custo do capital, fixado de acordo com o equipamento adquirido.

O custo energético, representado pela equação 3.11, é composto pela soma entre o custo com combustível, representado pela equação 3.9, e o custo com energia elétrica, obtido pela equação 3.10.

$$Custo_{comb.} = \frac{Comb_{\text{útil}} \cdot Valor_{comb.}}{H_2O_{remov.}} \quad (\text{equação 3.9})$$

onde:

$Comb_{\text{útil}}$  = Quantidade de GLP ou Lenha utilizados na secagem, (kg)

$Valor_{comb.}$  = Valor unitário do GLP ou da Lenha, (R\$ \* kg<sup>-1</sup>)

$H_2O_{remov.}$  = Quantidade de água removida, (kg \* h<sup>-1</sup>)

$$Custo_{elet} = \frac{kW_{\text{útil}} \cdot Valor_{kW}}{H_2O_{remov.}} \quad (\text{equação 3.10})$$

onde:

$kW_{\text{útil}}$  = Quantidade de KW utilizados na secagem, (kW)

$Valor_{kW}$  = Valor unitário do KW, (R\$ \* h<sup>-1</sup>)

$H_2O_{remov.}$  = Quantidade de água removida, (kg \* h<sup>-1</sup>)

$$Custo_{energ} = Custo_{comb} + Custo_{elet} \quad (\text{equação 3.11})$$

onde:

$Custo_{energ}$  = Custo energético, (R\$ \* kg H<sub>2</sub>O<sub>ret</sub><sup>-1</sup>)

O custo de trabalho, representado pela equação 3.12, é representado pela relação entre a taxa horária de trabalho e a taxa de hora de água removida.

$$Custo_{trab.} = \frac{Taxa_{trab.}}{H_2O_{remov.}} \quad (\text{equação 3.12})$$

onde:

Taxa<sub>trab</sub> = Valor total da hora trabalhada, acrescida de encargos, (R\$ \* h<sup>-1</sup>)

H<sub>2</sub>O<sub>remov</sub> = Quantidade de água removida, (kg \* h<sup>-1</sup>)

O custo do capital é composto pela soma entre o valor da depreciação dos equipamentos, os juros sobre o investimento médio, o valor do seguro e dos reparos.

A taxa de depreciação dos equipamentos pode ser obtida pela equação 3.13.

$$Taxa\ de\ Depreciação(\%) = \frac{100}{Anos\ de\ Vida} \quad (\text{equação 3.13})$$

O juros do investimento médio atual, aplicado às operações de FINAME agrícola, é de 8,75% a.a.

Segundo HELLEVANG & REFF (1990), o custo anual do seguro pode ser estimado em 0,5% sobre o investimento médio e o dos reparos, em 3% a.a. sobre o investimento inicial.

### **3.13. Armazenagem em pergaminho**

O café despulpado é sensível às variações ambientais, devendo ser armazenado em boas condições, permitindo o armazenamento por um período superior a um ano. A retirada do pergaminho, segundo CHALFOUN & CARVALHO (1997), diminui o período de

conservação, recomendando o benefício do produto na medida em que for sendo vendido.

THOMAZIELLO et al. (1996) citam que cafés em coco ou pergaminho, armazenados nos teores de umidade recomendados, mantêm a cor original e se conservam bem durante meses, em ambientes frescos, com temperaturas máximas de 20°C e umidades relativas ao redor de 65%, mantendo-se com 11 a 12% de umidade, por tempo indefinido. RENA et al. (1986) afirmam que, nessas condições de armazenamento, as qualidades sensoriais do café também são preservadas durante meses.

OCTAVIANI (2000) armazenou amostras de café cereja descascado desmucilado em pergaminho, submetidos à diferentes condições de secagem, retirados de secadores horizontais rotativos com umidade entre 11,84 e 15,30% (bu) e, após resfriamento natural, foram acondicionados em sacos de polietileno de alta densidade, por aproximadamente 90 dias, à ausência de luz direta, 21°C de temperatura e 65% de umidade relativa do ar e os grãos, submetidos à análise sensorial, não tiveram a qualidade alterada.

### **3.14. Beneficiamento**

MATIELLO (1991) o define como a operação efetuada por máquinas que transformam, pela eliminação das cascas e pela separação dos grãos, o café em coco seco ou em pergaminho, em café beneficiado, também chamado café verde.

O beneficiamento do café pode ser realizado, segundo MENDES et al. (1995) e CHALFOUN & CARVALHO (1997), após um descanso de 4 dias, se preparado em terreiro e, após 6 dias, se seco mecanicamente.

A relação em peso no café despulpado é, de acordo com THOMAZIELLO et al. (1996), de 20% de palha e 80% em café beneficiado, sendo necessários 3,5 litros de café despulpado para a obtenção de 1,0 Kg de café beneficiado.

O beneficiamento, segundo RENA et al. (1986), consta das operações de pré-limpeza, catação de pedras, descascamento e classificação.

No caso de cafés em pergaminho, a pré-limpeza é desnecessária, uma vez que as impurezas maiores são retiradas ao longo dos processos de lavagem e despulpamento.

A catação de pedras retira, através de diferença de densidade, as pedras não retiradas na operação de pré-limpeza.

A máquina de beneficiar deve ser regulada antes de ser usada, com a finalidade de se evitar a quebra de grãos, a saída de grãos junto com a palha ou a saída de palhas junto com os grãos, segundo CHALFOUN & CARVALHO (1997).

O descascamento compreende a retirada da polpa seca, no caso de cafés em coco, ou do pergaminho, no caso de cafés despulpados ou cerejas descascados, obtendo-se o grão beneficiado. O produto obtido é denominado “bica corrida”, e compreende os grãos de todos os tamanhos.

A classificação é um procedimento geralmente utilizado por empresas exportadoras e compreende a separação dos grãos por peneiras ou grupos de peneiras, com a finalidade de se homogeneizar os lotes de café, para obtenção de maior uniformidade no processo de torrefação.

### **3.15. Armazenagem pós-benefício**

Para ser armazenado em escala comercial, o café beneficiado é acondicionado em sacos de juta ou big-bags, em pilhas, dentro dos armazéns. A armazenagem a granel de cafés beneficiados, pode ser efetuada, desde que sob condições controladas.

MATIELLO (1991) cita várias destas condições, tais como: Umidade inicial do grão armazenado, entre 11 e 12%; localização dos armazéns em terrenos altos, ensolarados e ventilados; aberturas para ventilação e iluminação controlada.

Em caso de armazenamento na propriedade, (MENDES et al., 1995) advertem que o produtor deve colocar as sacas empilhadas sobre estrados e afastadas das paredes.

Os armazéns-padrão são utilizados para o café já beneficiado, pois, segundo CHALFOUN & CARVALHO (1997), permitem uma boa conservação do produto a uma temperatura máxima de 21°C, umidade relativa do ar máxima de 70%, ventilação

adequada, proteção contra incidência de luz solar direta sobre os grãos, seguindo todas as normas de segurança, além de possuir um seguro a custo compensatório.

A altura máxima das pilhas, nesses armazéns, deve ser de 20 sacas para empilhamento manual e de 25 sacas para empilhamento mecânico; a altura do pé direito do armazém , de 6 metros e , ao menos 20% da área de armazenagem destinada a corredores e ruas.

### **3.16. Qualidade**

Os padrões qualitativos dos produtos alimentares variam de acordo com o tipo de mercado. CARVALHO (1997) define qualidade, de um modo mais amplo, como “Satisfação total do Consumidor”.

Em linhas gerais, segundo MATIELLO (1991) e THOMAZIELLO et al. (1996), o café beneficiado brasileiro tem sua qualidade determinada por duas fases distintas: classificação por tipos ou defeitos e a classificação pela qualidade. O estabelecimento do Decreto n.º 27.173, em 1949, aprovou especificações e tabelas para a classificação e fiscalização do café e a Resolução n.º 12.178, aprovada em março de 1978 pela Comissão Nacional de Normas e Padrões para Alimentos, fixou padrões de qualidade e identidade para alimentos e bebidas incluindo o café.

### **3.17. Classificação**

A classificação por tipo é realizada segundo as normas estabelecidas pela Tabela Oficial Brasileira de Classificação (tabela 3.11) e pela Tabela de Equivalências de Defeitos (tabela 3.12).

Tabela 3.11- Classificação Oficial Brasileira

Defeitos	Tipos	Pontos	Defeitos	Tipos	Pontos
4	2	+ 100	46	5	- 50
4	2 - 5	+ 95	49	5 - 5	- 55
5	2 - 10	+ 90	53	5 - 10	- 60
6	2 - 15	+ 85	57	5 - 15	- 65
7	2 - 20	+ 80	61	5 - 20	- 70
8	2 - 25	+ 75	64	5 - 25	- 75
9	2 - 30	+ 70	68	5 - 30	- 80
10	2 - 35	+ 65	71	5 - 35	- 85
11	2 - 40	+ 60	75	5 - 40	- 90
11	2 - 45	+ 55	79	5 - 45	- 95
12	3	+ 50	86	6	- 100
13	3 - 5	+ 45	93	6 - 5	- 105
15	3 - 10	+ 40	100	6 - 10	- 110
17	3 - 15	+ 35	108	6 - 15	- 115
18	3 - 20	+ 30	115	6 - 20	- 120
19	3 - 25	+ 25	123	6 - 25	- 125
20	3 - 30	+ 20	130	6 - 30	- 130
22	3 - 35	+ 15	138	6 - 35	- 135
23	3 - 40	+ 10	145	6 - 40	- 140
25	3 - 45	+ 5	153	6 - 45	- 145
26	4	base	160	7	- 150
28	4 - 5	- 5	180	7 - 5	- 155
30	4 - 10	- 10	200	7 - 10	- 160
32	4 - 15	- 15	220	7 - 15	- 165
34	4 - 20	- 20	240	7 - 20	- 170
36	4 - 25	- 25	260	7 - 25	- 175
38	4 - 30	- 30	280	7 - 30	- 180
40	4 - 35	- 35	300	7 - 35	- 185
44	4 - 40	- 40	320	7 - 40	- 190
44	4 - 45	- 45	340	7 - 45	- 195
			360	8	- 200

Fonte: IBC-Gerca (1985)

Tabela 3.12- Equivalência de grãos imperfeitos.

Defeitos	Valor
1 grão preto .....	1
1 pedra, pau ou torrão grande.....	5
1 pedra, pau ou torrão regular.....	2
1 pedra, pau ou torrão pequeno.....	1
1 coco .....	1
1 casca grande .....	1
2 ardidos.....	1
2 marinheiros.....	1
2-3 cascas pequenas .....	1
2-5 brocados.....	1
3 conchas .....	1
5 verdes.....	1
5 quebrados.....	1
5 chochos ou mal granados .....	1

Fonte: IBC-Gerca (1985)

### **3.17.1. Classificação pela qualidade**

Teoricamente, a classificação por qualidade considera os parâmetros: café (pela espécie ou variedade); fava (pelo formato dos grãos); peneira (pelas dimensões dos crivos das peneiras que retêm os grãos); aspecto (pela uniformidade, no conjunto tamanho, cor e seca); preparo (pela condução em terreiro ou despoldado); seca (pela uniformidade e consistência); cor (pela tonalidade), torração (pela contagem de grãos que não torraram e homogeneidade) e bebida (pela acidez e gostos estranhos).

Na prática, conhecidas a espécie, a procedência e o preparo, são realizadas as classificações por peneiras e pela bebida.

A classificação pela peneira leva em conta a forma dos grãos, denominados de chatos e mocas, sendo as favas classificadas pelo tamanho, de acordo com as dimensões dos crivos (redondos para os chatos e alongados para os mocas) que as retenham, sendo as peneiras designadas por números, os quais divididos por 64, fornecem a indicação dos tamanhos dos furos, expressos em frações de polegadas.

### **3.17.2. Classificação pela bebida**

Segundo Teixeira (1972) apud ABRAHÃO et al. (1976), a qualidade da bebida do café vem sendo determinada no Brasil, através da prova de xícara, desde o início do século, sendo o método, contudo, oficializado somente em 1917 pela Bolsa Oficial de Café e Mercadorias de Santos.

SÃO PAULO (1998) informa que a qualidade e preço do café dependem principalmente do tipo e da qualidade da bebida.

A classificação pela bebida é definida por BÁRTHOLO & GUIMARÃES (1997), segundo o gosto ou cheiro que o café apresenta na prova de xícara e feita de acordo com o gosto detectado por classificadores treinados, segundo CARVALHO (1997).

O elemento humano é o melhor instrumento, até então, para a apreciação do aroma e do sabor, através dos órgãos básicos dos sentidos; no entanto, devido ao caráter

subjetivo da prova de xícara, CARVALHO et al. (1994) apresentaram faixas de variações da atividade da polifenoloxidase correspondentes aos padrões de bebida obtidos sensorialmente.

CARNEIRO FILHO (1996) estudou o panorama da questão da qualidade do café, citando como fator preponderante a qualidade da bebida, e concluiu que o mercado é e será determinado pelo consumidor, o que exigirá mudanças em toda cadeia produtiva do café, visando sempre à melhoria e o aperfeiçoamento nos processos que envolvem a obtenção de bebidas finas.

Segundo MATIELLO (1991), é um processo que exige muito conhecimento, muita prática e paladar apurado, a fim de se distinguir suas variações. TEIXEIRA et al. (1984), estudando características de cafés colhidos verde e maduro, citam como inconvenientes do café colhido ainda verde, o aspecto, torração, tipo e a qualidade da bebida, além de menor peso e tamanho dos grãos.

Os padrões sensoriais de bebida obtidos pela prova de xícara, seguem uma escala decrescente, de caráter subjetivo, como pode ser observado na tabela 3.13, seguindo parecer de dois pesquisadores

Tabela 3.13- Descrições de padrões de bebidas através da prova de xícara.

Padrão	Matiello	Carvalho
Estritamente Mole	Padrão mole mais acentuado	Bebida de sabor muito suave e adocicado.
Mole	Agradável, brando e doce	Bebida suave e adocicada.
Apenas Mole	Bebida levemente suave, sem adstringências ou asperezas.	Bebida suave, com leve adstringência.
Dura	Acre, adstringente e áspero, sem paladares estranhos	Bebida adstringente e áspera.
Riada	Leve sabor típico de iodofórmio.	Leve sabor de iodofórmio ou ácido fênico.
Rio	Cheiro e gosto acentuados de iodofórmio.	Forte e desagradável, lembrando iodofórmio ou ácido fênico.
Rio Zona	Características mais acentuadas que o padrão de bebida rio.	Sabor e odor intoleráveis ao paladar e ao olfato.

Fonte: MATIELLO (1991) e CARVALHO (1997).

Analisando a qualidade do café originado de diferentes estádios de maturação, PIMENTA (1995) concluiu que a análise de bebida através da prova de xícara não

detectou diferença entre os estádios de maturação, classificando-os como “bebida dura”, caracterizando a grande subjetividade e tendências a bebida dura destas classificações.

PEREIRA et al. (2003) testou a qualidade de cafés de mesma origem, submetidos à três diferentes tipos de processamento e os grãos, obtendo melhores padrões de bebida nos grãos provenientes dos processos despulpado, descascado e desmucilado, em relação aos grãos submetidos ao processo natural.

REINATO et al. (2003), fizeram uma avaliação qualitativa em secagens de café que utilizaram lenha e GLP e concluíram que não houve diferença significativa na qualidade do café, com a utilização dos dois combustíveis.

CARDOSO SOBRINHO et al (2001), avaliando sistemas de secagem de café com utilização de lenha e GLP em secadores verticais e horizontais rotativos, observaram que não houve diferença na qualidade final de cafés secos e beneficiados, nos dois sistemas estudados.

Ao testar produtos para evitar fermentações indesejáveis em frutos de café e aumentar a porcentagem de grãos cereja, CORTEZ (1995) obteve uma melhora significativa nas características sensoriais do café, principalmente em relação à bebida, acidez, aroma, aspecto, conceito geral e adequação para expresso.

Relacionando a classificação do café pela bebida à composição físico-química, química e microflora do grão beneficiado, CARVALHO et al. (1989) concluíram que cafés classificados como de bebida mole e dura apresentaram índices muito baixos de infecção dos fungos *Aspergillus ochraceus*, *Fusarium roseum* e *Aspergillus flavus*, embora, tenham apresentado maiores infecções do gênero *Cladosporium*.

#### **4. MATERIAL E MÉTODOS**

O desenvolvimento da fase experimental deste projeto foi realizado no galpão de secagem da Fazenda Barra Mansa (figura 4.1), de propriedade de Pedro Henrique Sertorio, situado à Estrada São Sebastião do Paraíso-Goianazes, km 23, município de Capetinga - MG, e no Laboratório de Secagem do Departamento de Química, Solos e Tecnologia do Curso de Engenharia Agrônômica do CREUPI (Centro Regional Universitário de Espírito Santo do Pinhal), durante os meses de maio e junho de 2002.

As avaliações qualitativas foram realizadas nas Salas de Classificação de Café, da COOPINHAL – Cooperativa dos Cafeicultores da Região de Pinhal e da COOPARAÍSO – Cooperativa Regional dos Cafeicultores de São Sebastião do Paraíso Ltda.

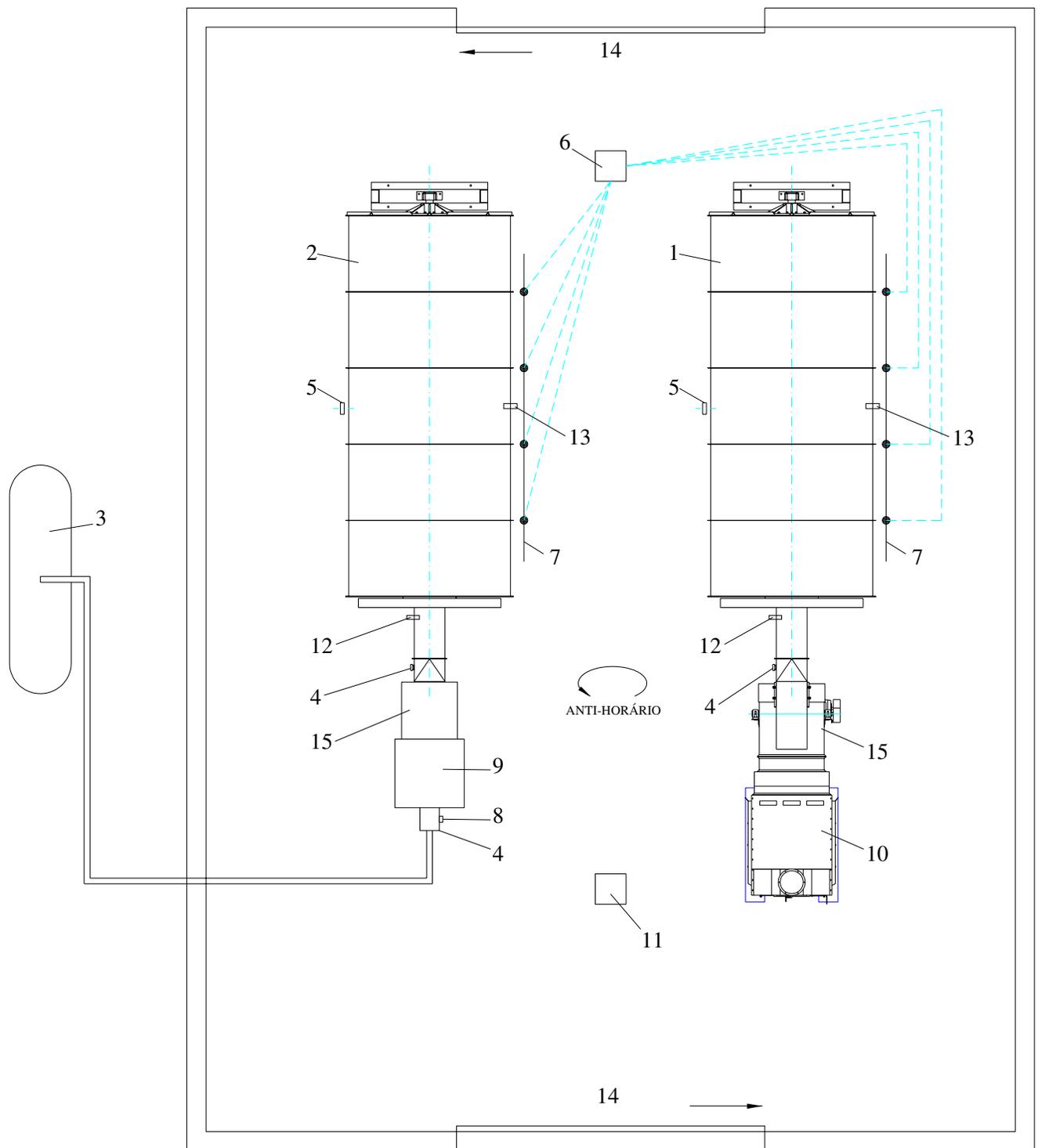


FIGURA 4.1 - DISPOSIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS P/ COLETA DE DADOS.

LEGENDA:

- 1 - SECADOR N° 1 (LENHA)
- 2 - SECADOR N° 2 (GLP)
- 3 - CILINDRO GLP
- 4 - TERMOMETRO BULBO SECO (T °C AR DE SECAGEM)
- 5 - TERMOMETRO BULBO SECO (T °C MASSA DE CAFÉ)
- 6 - REGISTRADOR DE TEMPERATURA (AR DE SAÍDA)
- 7 - SUPORTE E POSIÇÃO DOS TERMOPARES
- 8 - REGISTRO VAZÃO GLP

- 9 - QUEIMADOR
- 10 - FORNALHA
- 11 - TERMOHIGROGRAFO
- 12 - ORIFÍCIO P/ PITOT (PRESSÃO DE VELOCIDADE DO AR)
- 13 - ORIFÍCIO (AMOSTRAGEM DE GRÃOS)
- 14 - PORTAS
- 15 - VENTILADOR

#### 4.1. Planejamento

O planejamento da fase experimental, de onde foram extraídos os dados e obtidos os resultados para análise, constou da coleta dos dados referentes ao fluxo de ar, temperatura do ar, temperatura da massa, umidade inicial e final dos grãos, e os respectivos tempos de secagem, como pode ser observado na tabela 4.1 tendo, na primeira coluna, as designações das secagens, denominadas de L para utilização de lenha e G, para utilização de GLP como combustíveis, respectivamente.

Tabela 4.1- Esquema de distribuição de dados em 16 secagens de café.

Secagem	Data	Fluxo médio de ar ( $m^3 \cdot min^{-1}$ )	Temperatura média do ar ( $^{\circ}C$ )	Temperatura média da massa ( $^{\circ}C$ )	Umidade Inicial (% bu)	Umidade Final (% bu)	Tempo Total (h)
L1	Data L1	Fluxo L1	T $^{\circ}C$ ar L1	T $^{\circ}C$ massa L1	U%i L1	U%f L1	Tempo L1
G1	Data G1	Fluxo G1	T $^{\circ}C$ ar G1	T $^{\circ}C$ massa G1	U%i G1	U%f G1	Tempo G1
L2	Data L2	Fluxo L2	T $^{\circ}C$ ar L2	T $^{\circ}C$ massa L2	U%i L2	U%f L2	Tempo L2
G2	Data G2	Fluxo G2	T $^{\circ}C$ ar G2	T $^{\circ}C$ massa G2	U%i G2	U%f G2	Tempo G2
L3	Data L3	Fluxo L3	T $^{\circ}C$ ar L3	T $^{\circ}C$ massa L3	U%i L3	U%f L3	Tempo L3
G3	Data G3	Fluxo G3	T $^{\circ}C$ ar G3	T $^{\circ}C$ massa G3	U%i G3	U%f G3	Tempo G3
L4	Data L4	Fluxo L4	T $^{\circ}C$ ar L4	T $^{\circ}C$ massa L4	U%i L4	U%f L4	Tempo L4
G4	Data G4	Fluxo G4	T $^{\circ}C$ ar G4	T $^{\circ}C$ massa G4	U%i G4	U%f G4	Tempo G4
L5	Data L5	Fluxo L5	T $^{\circ}C$ ar L5	T $^{\circ}C$ massa L5	U%i L5	U%f L5	Tempo L5
G5	Data G5	Fluxo G5	T $^{\circ}C$ ar G5	T $^{\circ}C$ massa G5	U%i G5	U%f G5	Tempo G5
L6	Data L6	Fluxo L6	T $^{\circ}C$ ar L6	T $^{\circ}C$ massa L6	U%i L6	U%f L6	Tempo L6
G6	Data G6	Fluxo G6	T $^{\circ}C$ ar G6	T $^{\circ}C$ massa G6	U%i G6	U%f G6	Tempo G6
L7	Data L7	Fluxo L7	T $^{\circ}C$ ar L7	T $^{\circ}C$ massa L7	U%i L7	U%f L7	Tempo L7
G7	Data G7	Fluxo G7	T $^{\circ}C$ ar G7	T $^{\circ}C$ massa G7	U%i G7	U%f G7	Tempo G7
L8	Data L8	Fluxo L8	T $^{\circ}C$ ar L8	T $^{\circ}C$ massa L8	U%i L8	U%f L8	Tempo L8
G8	Data G8	Fluxo G8	T $^{\circ}C$ ar G8	T $^{\circ}C$ massa G8	U%i G8	U%f G8	Tempo G8

A temperatura da massa de grãos serviu de base para estabelecer o controle da temperatura do ar de secagem

Os grãos de café em pergaminho tiveram umidades iniciais entre 45 e 55%, frações estas comuns, após serem submetidos exclusivamente à drenagem da água superficial e umidades finais entre 11 e 13%, por caracterizarem faixas em que o café em pergaminho encontra-se em equilíbrio higroscópico, com as condições atmosféricas do sudeste do Brasil.

## 4.2. Matéria-prima

Foram utilizados 240.000 litros de grãos de café arábica (*Coffea arabica* L.) do cultivar Icatú 2944, da safra 2002, em pergaminho e desmucilados, colhidos na Fazenda Barra Mansa, provenientes da lavoura de 120.000 plantas com idade entre 5 e 7 anos, plantadas em espaçamento de 3,5 x 0,8 metros.

## 4.3. Colheita

A colheita foi realizada através do sistema mecânico automotriz, com utilização de uma colheitadeira CASE modelo A-2000 (figura 4.2), e iniciada quando a existência de grãos verdes foi inferior a 5%. Os grãos foram transportados para carreta basculante (figura 4.3), para encaminhamento imediato ao lavador.



Figura 4.2- Colheita mecanizada do café.



Figura 4.3- Transporte para carreta basculante

#### 4.4. Lavagem

O café foi lavado em um lavador e separador marca Pinhalense, modelo LSC 20P, com capacidade de lavagem de até  $20.000 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$ , impulsionado por 2 motores (3,0 e 0,5 hp), com alimentação por um separador de impurezas e uma bica de jogo que retirou as folhas e gravetos remanescentes, (figura 4.4), passando por uma calha para retirada de eventuais pedras, e lançado ao tanque de lavagem que, por diferença de densidade, fez a separação dos grãos em bóias ( passas, bóias e coquinhos) e cerejas (cerejas, verdolengos e verdes). Os grãos menos densos foram destinados ao terreiro e os mais densos, ao descascador de cerejas.



Figura 4.4- Calhas do lavador, com cafés lavados.

#### 4.5. Despulpamento

Os grãos mais densos foram despulpados em um descascador de cerejas da marca Pinhalense, modelo DC-6 (Figura 4.5), que fez a separação dos grãos verdes por diferença de pressão, retirando a casca e parte da polpa dos cerejas, separando-as e repassando os cerejas não despulpados, produzindo café em pergaminho com mucilagem. Os grãos verdes foram enviados ao terreiro.



Figura 4.5 - Descascador Pinhalense mod. DC-6

#### 4.6. Desmucilagem

Os grãos em pergaminho foram desmucilados em um desmucilador Pinhalense modelo DFA-1 e a mucilagem ainda existente foi removida por fricção entre os grãos, em fluxo ascendente, com injeção de água para lubrificação e lavagem da mucilagem, que saiu pela base da máquina. O café em pergaminho, com pequena quantidade de mucilagem, saiu pela parte superior da máquina. (figura 4.6).

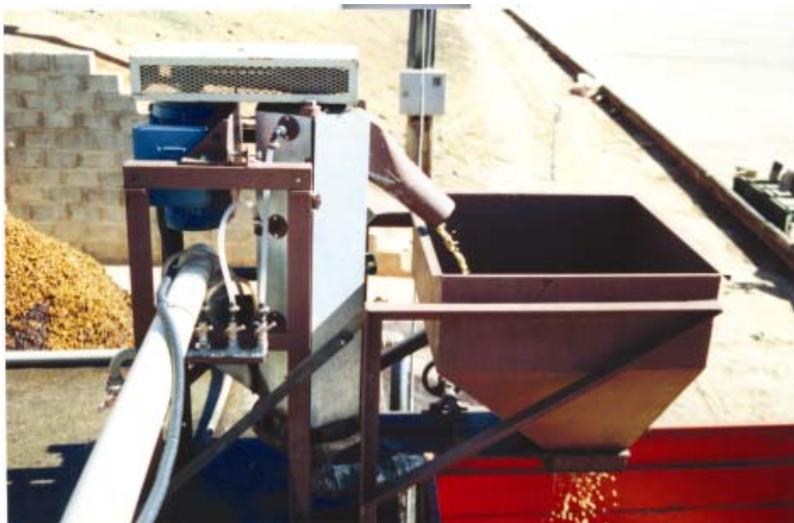


Figura 4.6 - Saída dos grãos descascados do desmucilador para envio ao terreiro

#### 4.7. Pré-secagem

A pré-secagem constou da esparramação do café cereja descascado e desmucilado em terreiro revestido de concreto com 1% de declividade, em camada de aproximadamente três centímetros, sendo revolvido a cada 20 minutos, entre 15:00 e 17:00h do dia da colheita e entre 9:00 e 11:00h do dia seguinte, com a utilização de rodos de madeira dentados (figura 4.7), permanecendo apenas para drenagem da água utilizada nos processos de lavagem, despulpamento e desmucilagem, sendo, em seguida, recolhido aos secadores.



Figura 4.7- Revolvimento do café com rodos dentados.

O recolhimento foi feito com a utilização de carretas basculantes marca Santa Isabel, com capacidade para 3.500 litros de café. A carga individual de cada secador, 15.000 litros, foi obtida pelo despejo de 04 carretas, mais 04 carrinhos transportadores de café marca Pinhalense, modelo Carter, com capacidade para 250 litros, cada, em moega, e lançados ao interior do secador por meio de elevador de canecas metálicas, mantendo-se um vão livre de aproximadamente 20 cm no interior do cilindro de secagem, para facilitar a movimentação dos grãos, conforme recomendação do fabricante.

#### **4.8. Secagem mecânica**

A secagem mecânica, fase do processamento onde foram coletados os dados experimentais, foi realizada em dois secadores rotativos horizontais marca Pinhalense, modelo SRE-150 (figura 4.8) com rotação do cilindro a 3,0 RPM, utilizando ventiladores centrífugos modelo VC-054.



Figura 4.8- Instalação para secagem e disposição dos secadores.

O ar de secagem do primeiro secador foi aquecido através da utilização de gás liquefeito de petróleo (GLP) da marca Minasgás e de queimadores de gás da marca Noway, modelo EC-5, Sistema Set Point, com capacidade de geração de até 150.000 kcal\*h<sup>-1</sup> (Figura 4.9).



Figura 4.9- Secador com Queimador Noway EC-5 em operação.

O ar de secagem do segundo secador foi aquecido por meio de uma fornalha Pinhalense modelo FTC-04 (Figura 4.10), com utilização de lenha de eucalipto.



Figura 4.10- Secador com Fornalha FTC-04 em operação

A distribuição do ar de secagem no sistema de secagem com secador SRE-150 e dentro do cilindro de secagem podem são observados nas figuras 4.11 e 4.12, respectivamente.

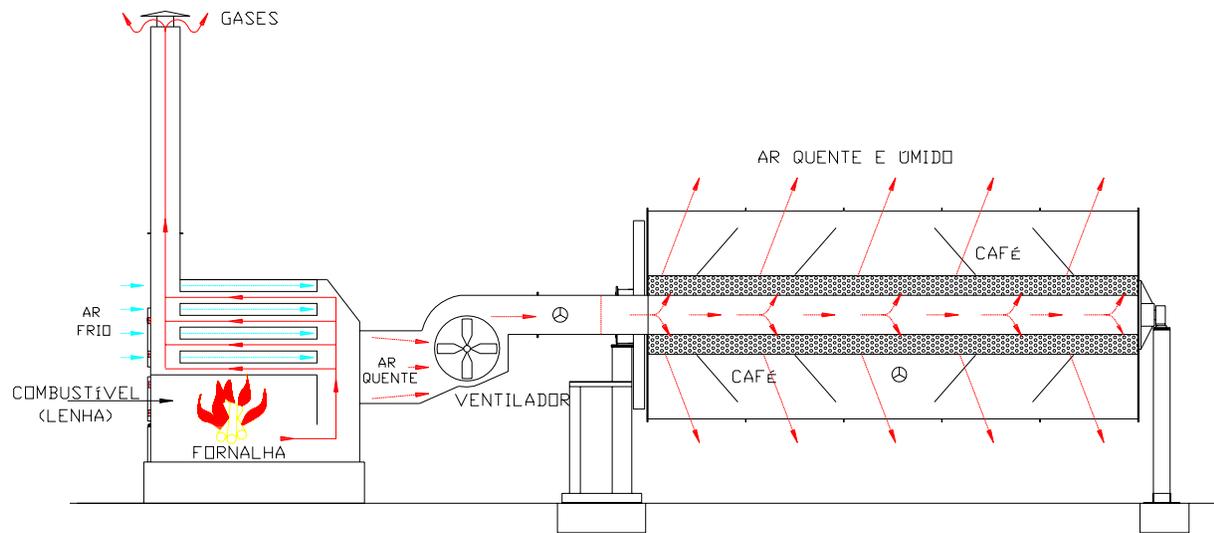


Figura 4.11 - Distribuição do ar de secagem em secador SRE-150

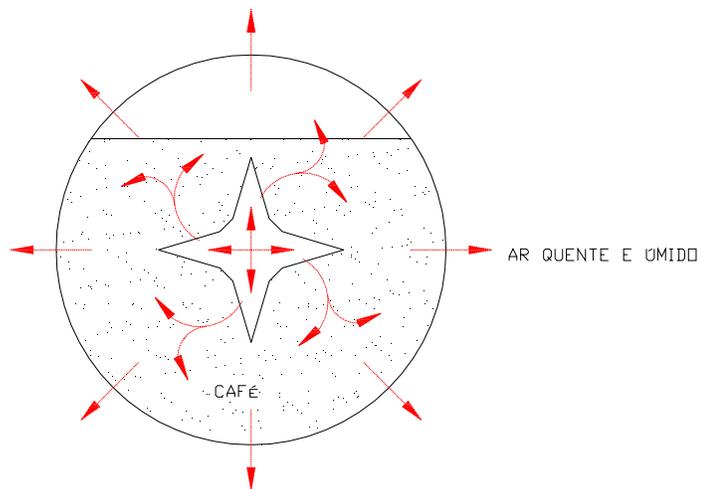


Figura 4.12 - Corte do cilindro de secagem com distribuição do ar.

#### 4.8.1. Temperaturas

A temperatura do ar ambiente foi registrada durante todo o período de secagem e os dados das temperaturas do ar de secagem, da massa de grãos de café, do ar de saída do secador e das amostras de café foram registrados no início, em intervalos de 30 min. nas 10 primeiras horas, de 60 min. a partir da 11<sup>a</sup> hora, e ao final das secagens.

##### 4.8.1.1. Ar ambiente

A temperatura do ar ambiente foi registrada através de um termohigrógrafo marca CMR do Brasil, mod. NG 5538, com precisão de  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ , posicionado entre os dois secadores, à altura da sucção de ar dos ventiladores (figura 4.13).



Figura 4.13-Termohigrógrafo para o registro das condições ambientais.

#### 4.8.1.2. Ar de secagem

As temperaturas do ar de secagem foram registradas através de dois termômetros de bulbo seco marca Agatec modelo 0-150  $\pm$  0,5°C, posicionados nos dutos de ventilação, a 10 cm da saída do ventilador (figura 4.14). Seu monitoramento, com valores médios entre 65 e 90°C, foi fundamental para estabelecer o fornecimento de calor, ao longo do processo, em função da manutenção de temperaturas adequadas à massa de grãos.



Figura 4.14- Registro de temperatura do ar de secagem.

#### 4.8.1.3. Massa de grãos

O registro das temperaturas das massas de grãos de café foi realizado com a utilização de dois termômetros de bulbo seco marca Agatec, mod. 0-120  $\pm$  0,5°C, existente na seção central dos cilindros de secagem (figura 4.15). Procurando-se mantê-la com valores médios entre 35 e 45°C, a mesma serviu de referência ao fornecimento de calor ao sistema.



Figura 4.15- Registro de temperatura da massa de café.

#### **4.8.1.4. Saída do secador**

As temperaturas do ar à saída do secador foram registradas em 04 pontos ao longo do comprimento total do cilindro de secagem (1,0; 2,0; 3,0 e 4,0m) a partir da extremidade próxima ao duto de ventilação, através de registrador digital de temperatura de 12 canais marca Coleparmer, com precisão de 0,1°C, utilizando fios termopares de Cobre-Constantan, instalados em uma base externa paralela ao cilindro, com os sensores posicionados a 2 cm da chapa perfurada do cilindro de secagem, por ser a menor distância operacional, sem ocorrência de contato com as superfícies metálicas das janelas de carga e respectivas travas de fechamento. (figura 4.16). Sua determinação é importante, pois a mesma reflete o nível de homogeneização na distribuição do ar, dentro do cilindro de secagem.



Figura 4.16- Posição dos termopares no cilindro de secagem.

#### 4.8.1.5 Amostras

As temperaturas das amostras coletadas foram obtidas através de um termômetro digital existente no determinador de umidade marca Gehaka modelo G 600, operando na escala universal (figura 4.17)



Figura 4.17- Operação do determinador Gehaka G-600.

## 4.8.2. Fluxos

Os registros dos dados de pressão de velocidade do ar de secagem e da vazão e pressão do GLP foram feitos no início, em intervalos de 30 min. nas 10 primeiras horas, de 60 min. a partir da 11ª hora, e no final das secagens.

### 4.8.2.1. Fluxo de ar

A velocidade do ar de secagem foi calculada à partir do registro das velocidades em 5 pontos (0,0; 10,0; 20,0; 30,0 e 40,0 cm) de uma secção do duto de ventilação de 400 mm de diâmetro, a 30,0 cm do início do cilindro e a 100,0 cm da saída da caixa do ventilador, que operou em aberto, segundo instruções do fabricante, por meio de um manômetro dotado de tubo pitot marca Dwyer mod. 1211-36, com deslocamento de água em coluna em “U” graduada, com precisão de  $\pm 0,2$  cm (figura 4.18), e a vazão do ar de secagem, obtida pelas equações (3.1, 3.2, 3.3 e 3.4), de acordo com instruções do fabricante.



Figura 4.18- Tubo pitot e coluna Dwyer 1211-36.

#### 4.8.2.2. Fluxo de GLP

O GLP foi armazenado em um cilindro horizontal com capacidade para 1000 kg e o mesmo foi transportado, por uma tubulação galvanizada à uma válvula reguladora de pressão. O registro dos dados de vazão de GLP foi feito com a utilização de registrador de leitura direta acoplado ao queimador, com precisão de 0,01kg. (figura 4.19), e o valor registrado, subtraído do valor inicial e multiplicado pela constante  $2,253 * 10^{-3}$ , de acordo com instruções do fabricante.



Figura 4.19- Registrador de consumo acoplado ao queimador.

#### 4.8.2.3. Consumo de Lenha

Os registros de consumo de lenha de eucalipto (figura 4.20) foram feitos com a utilização de uma balança marca Filizola, com capacidade para 200,0 kg



Figura 4.20- – Lenha de eucalipto pronta para utilização.

### **4.8.3. Umidade**

Os registros da umidade relativa do ar foram coletados durante todo o período de secagem e a umidade dos grãos de café, no início, em intervalos de 30 min. nas primeiras 10 horas, de 60 min. a partir da 11<sup>a</sup> hora, e no final de cada secagem.

#### **4.8.3.1. Umidade relativa do ar**

A umidade relativa do ar ambiente foi registrada através de um termohigrógrafo marca CMR do Brasil mod. NG 5538, com precisão de  $\pm 1\%$ , posicionado entre os dois secadores, à altura da sucção de ar dos ventiladores.

#### **4.8.3.2. Umidade dos grãos**

As amostras dos grãos de café em pergaminho foram retiradas dos secadores através de um orifício com 5 cm de diâmetro, dotado de registro, existente na secção central do cilindro, sem a necessidade de interrupção da rotação dos secadores e do fornecimento de ar aquecido para a secagem (figura 4.21).



Figura 4.21- Retirada de amostra do secador.

As amostras parciais, em três repetições, foram acondicionadas em saquinhos de polietileno virgem incolor 20 x 30cm e seladas após o esfriamento dos grãos, à temperatura ambiente no interior do laboratório, sendo submetidas à determinação da umidade, através do método da estufa a  $105 \pm 3^{\circ}\text{C}$  por 24 horas (BRASIL, 1992), com utilização de  $2 \pm 10^{-4}\text{g}$  de café em pergaminho em uma estufa com circulação forçada de ar Fanem modelo 320-SE e uma balança analítica Marca AND modelo HR 200, e as umidades obtidas pela equação 3.14.

#### **4.9. Massa específica**

A massa específica dos grãos dos grãos de café em pergaminho foi registrada, pelo método da determinação do peso hectolítrico, com os grãos à temperatura ambiente, no início, a cada 60 minutos e ao final dos processos de secagem

#### **4.10. Amostragem e armazenagem**

Ao final de cada processo de secagem, foi retirada uma amostra de 10 Kg de café em pergaminho, através do mesmo orifício, destinada à classificação sensorial.

As amostras foram acondicionadas em sacos de polietileno virgem incolor 50 x 35 cm (figura 4.22), seladas e agrupadas no interior de sacas de ráfia plástica opaca de alta densidade, 80 x 65 x 0,05cm onde permaneceram no interior do Laboratório de Tecnologia do CREUPI, à temperatura ambiente média de 22°C, por aproximadamente 60 dias, até a data da análise sensorial.



Figura 4.22 – Acondicionamento de amostras de café em pergaminho

#### **4.11. Benefício**

O processo de benefício do café em pergaminho foi realizado na manhã do dia 15/07/2002, na Sala de Classificação da Cooperativa dos Cafeicultores da Região de Pinhal, através da retirada de uma sub-amostra de 2,0 kg de café em pergaminho, com utilização de uma balança pendular marca Filizola e de um descascador de café marca Pinhalense modelo DRC 2, com vazadeiras metálicas operando a 1700 RPM, obtendo-se o café beneficiado destinado à análise sensorial.

#### 4.12. Análise sensorial

As análises sensoriais foram realizadas nas salas da Classificação de Café, pelos profissionais: João Luís Rossatti, classificador-provador de café da COOPINHAL, e Marcio Fagundes de Souza, classificador-provador de café da COOPARAÍSO.

Tendo como referência as amostras de 2,0 kg de café beneficiado de cada parcela, foram avaliados os seguintes parâmetros: seca, cor e aspecto, segundo os sentidos de visão e olfato de cada classificador. (figura 4.23), atribuindo-se valores os 3 e 4 para ruim, 5 e 6 para regular, 7 e 8 para bom e 9 e 10 para ótimo.



Figura 4.23- Análise para seca, cor e aspecto do café.

A análise da bebida foi realizada através da retirada de uma sub-amostra de 300 gramas de café beneficiado submetida a um processo de meia torra, em torrador rotativo a gás dotado de moinho, específico para classificação, marca Pinhalense, mod. TMC-03.

Após a torra, o café foi resfriado com aeração forçada, gerada pelo próprio torrador e moído em granulometria grossa.

A seguir, cada amostra foi subdividida em 05 porções, em xícaras de prova, e receberam água mineral em ponto de ebulição, promovendo-se seu revolvimento para homogeneização da infusão, seguindo-se a retirada de toda espuma sobrenadante.

Após se aguardar o resfriamento das infusões até aproximadamente 40°C, deu-se início à prova das xícaras, tendo os classificadores emitido suas avaliações sensoriais

finais (figura 4.24), atribuindo-se os valores 1 e 2 para bebida rio, 3 e 4 para bebida riada, 5 e 6 para bebida dura, 7 e 8 para bebida dura para melhor e 9 e 10 para bebida mole.



Figura 4.24- Análise da bebida pela prova de xícara.

#### **4.13. Custo de secagem**

##### **4.13.1. Custo energético**

O custo energético foi obtido pela aplicação das equações 3.9, 3.10 e 3.11, considerando-se o valor do Kg de GLP em R\$ 1,50/kg e o valor da lenha em R\$ 25,00/m<sup>3</sup>, correspondentes à R\$ 0,0074/kg (CTGÁS,2000). O valor do kWh, foi de R\$ 0,17.

##### **4.13.2. Custo do trabalho**

O custo do trabalho foi obtido pela equação 3.12, considerando-se o salário líquido mensal de R\$ 216,00, resultando em R\$ 1,10 o valor da hora trabalhada, acrescida de encargos. O tempo de dedicação do funcionário às operações de secagem foi estimado

em 70% do período de secagem, para o sistema que utilizou lenha como combustível e 30% para as secagens que utilizaram GLP. Tal estimativa teve como base cronometragens realizadas em 02 testes para lenha e 02 testes para GLP em que a soma dos tempos de dedicação, multiplicada por 100 e dividida pelo número de horas total da secagem, gerou os respectivos percentuais.

#### **4.13.3. Custo do capital**

O custo do capital foi obtido, tendo-se como base o valor inicial do secador Pinhalense SRE-150, em R\$ 20.000,00 e uma vida útil de 20 anos, com valor residual de R\$ 5.000,00; o valor inicial da fornalha Pinhalense FTC-04, em R\$ 5.000,00 e uma vida útil de 8 anos, com valor residual de R\$ 100,00 e o valor inicial do queimador Noway EC-05 Sistema Set Point, de R\$ 8.600,00 e uma vida útil de 8 anos, com valor residual de R\$ 1720,00.

A taxa de depreciação foi obtida pela equação 3.13, o seguro e o valor dos reparos, estimados em 0,5% anuais sobre o investimento médio e 3,0% anuais sobre o investimento inicial (HELLEVANG & REFF, 1990)

A utilização anual dos equipamentos foi estimada em 990 horas e a taxa de juros anual considerada foi de 8,75%.

O custo total da secagem foi obtido pela soma entre os custos energético, de trabalho e do capital.

#### **4.14. Rendimento do sistema de ventilação**

O rendimento do sistema de ventilação dos secadores, composto pelo motor monofásico Weg de 7,5 hp e ventilador Pinhalense modelo VC-054, foi obtido pelas equações (3.5, 3.6 e 3.7) e as perdas de carga consideradas nos sistemas foram de 80 mmca para a fornalha à lenha e 20 mmca para o queimador de GLP, segundo informações dos respectivos fabricantes.

#### **4.15. Análise estatística**

Em virtude das secagens não terem sido caracterizadas como tratamentos, a análise estatística apenas foi empregada à avaliação da análise sensorial, realizada em delineamento inteiramente casualizado, sendo os resultados submetidos a análises de variâncias, e as médias, comparadas pelo teste de Tukey a 5%, pelo sistema de análise estatística ANOVA 1.0, em 4 repetições.

## **5. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Os dados obtidos permitem a análise das condições experimentais, curvas de umidade, relação entre a umidade e a massa específica do café, relação entre as temperaturas registradas em termômetros industriais e termopares, tempo total de secagem, água retirada em função do tempo de secagem, água retirada em função do GLP utilizado, quantidade de GLP e lenha utilizados, custo do processo de secagem e qualidade sensorial do café.

### **5.1. Condições experimentais**

As secagens receberam denominações de L e G, para designar o combustível utilizado, lenha ou GLP, respectivamente e os números 1 a 8 para designarem os pares de secagem simultâneos, segundo as condições expostas na tabela 5.1, totalizando 8 baterias de 2 secagens concomitantes, sempre com início às 12:00 horas.

Devido às características do termômetro industrial de bulbo seco acoplado ao cilindro do secador, o registro específico das temperaturas da massa de café, a partir da redução

do volume da massa de grãos ao longo da secagem, foi composto pelas temperaturas da massa de grãos e do ar no interior do cilindro de secagem.

O planejamento experimental permitiu a obtenção de dados simultâneos de secagens de café com utilização de lenha e GLP, em condição de campo. Os valores médios estão indicados na tabela 5.1.

Tabela 5.1- Condições experimentais médias em 16 secagens de café.

Secagem	Data	Fluxo de ar (m <sup>3</sup> .min <sup>-1</sup> )	Massa de café (m <sup>3</sup> )	Temperatura do ar (°C)	Temperatura da massa (°C)	Umidade Inicial (% bu)	Umidade Final (% bu)	Tempo (h)
	05/ 2002							
L1	01-02	140,74	15,0	76.80	41.95	45.86	11.15	30
G1	01-02	169,94	15,0	69.75	39.20	46.90	11.50	29
L2	03-04	141,35	15,0	84.19	41.24	45.32	12.44	26
G2	03-04	169,85	15,0	69.38	36.36	45.37	12.54	28
L3	08-09	138,90	15,0	80.65	43.74	49.11	11.05	28
G3	08-09	170,46	15,0	66.28	38.63	50.17	11.12	33
L4	15-16	143,83	15,0	85.75	41.10	48.89	11.86	29
G4	15-16	171,80	15,0	67.55	36.30	47.50	11.56	31
L5	17-18	141,73	15,0	88.34	41.37	47.11	12.55	24
G5	17-18	170,63	15,0	68.35	36.35	46.07	12.05	31
L6	22-24	141,38	15,0	84.35	42.63	58.30	11.26	36
G6	22-24	171,69	15,0	71.23	35.73	53.47	11.96	38
L7	24-25	143,10	15,0	88.63	42.15	51.54	10.80	29
G7	24-25	174,53	15,0	71.95	37.85	51.40	10.69	30
L8	30-31	143,12	15,0	84.38	41.33	49.27	11.69	29
G8	30-31	126,29	15,0	71.70	36.43	48.83	11.68	35

Observa-se que os fluxos de ar utilizados, embora com conjuntos de ventiladores, motores e polias idênticas, apresentaram valores bem diferenciados entre os pares de secagem, sendo, em média, 18,46% maiores no conjunto que utilizou GLP, tendo como causa provável a perda de carga provocada pela colméia da fornalha nos conjuntos que utilizaram lenha como combustível.

Foram realizados testes preliminares para avaliação da capacidade de fornecimento de energia dos sistemas, com fornalha e queimador. Observou-se a necessidade de substituição do queimador por outro, com maior capacidade de geração de energia. Mesmo após a substituição do mesmo, verificou-se que as temperaturas do ar de secagem foram, em média, 21,06% maiores no conjunto que operou com lenha, devido à incapacidade do queimador utilizado em promover combustões desejáveis à elevação das temperaturas iniciais, principalmente no primeiro terço do período de secagem.

Da mesma forma, como resultantes da ineficiência do queimador testado, as temperaturas na massa de grãos seca no conjunto operado a lenha foram, em média, 13,18% maiores.

Não houve possibilidade de realizar uma nova substituição do queimador, pois o tempo necessário para tal comprometeria a disponibilidade de grãos de café, para a realização dos testes.

A média de umidade inicial dos grãos foi de 49.07% (bu) e, a de umidade final, de 11.62% (bu).

As médias das temperaturas da massa de grãos, entre 35,73 e 43,74°C, serviram de referência ao fornecimento de calor ao sistema e conseqüentes temperaturas do ar de secagem, com valores médios de 66,28 a 88,63°C.

Os tempos de secagem, à exceção do par L1 e G1 foram, em média, 13,05% menores no conjunto que utilizou lenha como combustível, em conseqüência dos níveis maiores de temperaturas do ar de secagem e da massa de grãos obtidos. Os mesmos também foram influenciados pela diferença entre os valores das umidades iniciais e finais.

A tabela 5.2 mostra as temperaturas médias do ar ambiente com as umidades relativas registradas.

Tabela 5.2- Temperatura e umidade relativa do ar ambiente em secagens de café

Secagem	Temperatura média (°C)	Umidade Relativa média (%)
L1	27.4	59.9
G1	27.2	60.6
L2	25.3	69.5
G2	25.4	68.9
L3	25.8	69.1
G3	25.5	68.1
L4	24.3	61.7
G4	24.6	61.1
L5	24.3	67.3
G5	26.1	62.2
L6	23.5	68.1
G6	23.3	68.4
L7	20.8	59.8
G7	21.0	59.3
L8	23.1	62.2
G8	22.9	63.1

As médias da temperatura e umidade relativa do ar ambiente não apresentaram, para cada bateria simultânea de secagem, valores iguais, devido à diferença no tempo total necessário à obtenção da umidade final, para cada sistema.

A temperatura média do ar ambiente foi de 24.4°C, com menor amplitude nas secagens L3 e G3 (próximo a 10°C), e maior nas secagens L1 e G1 (próximo a 20°C) e a umidade relativa média, de 64.33%, com maior amplitude nas secagens L1 e G1 (próximo a 49%) e menor nas secagens L6 e G6 (próximo a 34%).

A figura 5.1 mostra a variação da temperatura ambiente durante as secagens.

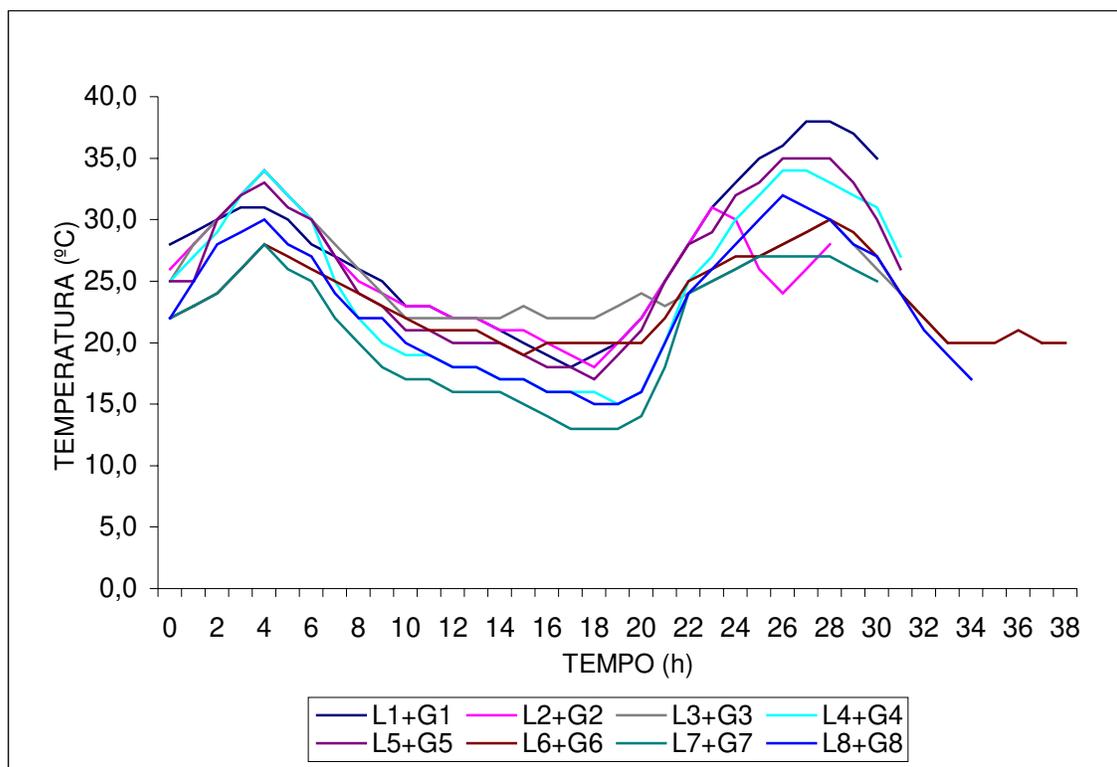


Figura 5.1- Temperatura ambiente em 8 pares de secagem de café.

A figura 5.1 mostra as mesmas tendências nas curvas de temperaturas, ao longo das secagens, com acréscimos iniciais, e próximos das 24 horas de duração, uma vez que o início das secagens deu-se sempre às 12:00h.

O comportamento da umidade relativa do ar durante os processos de secagem, são observados na figura 5.2.

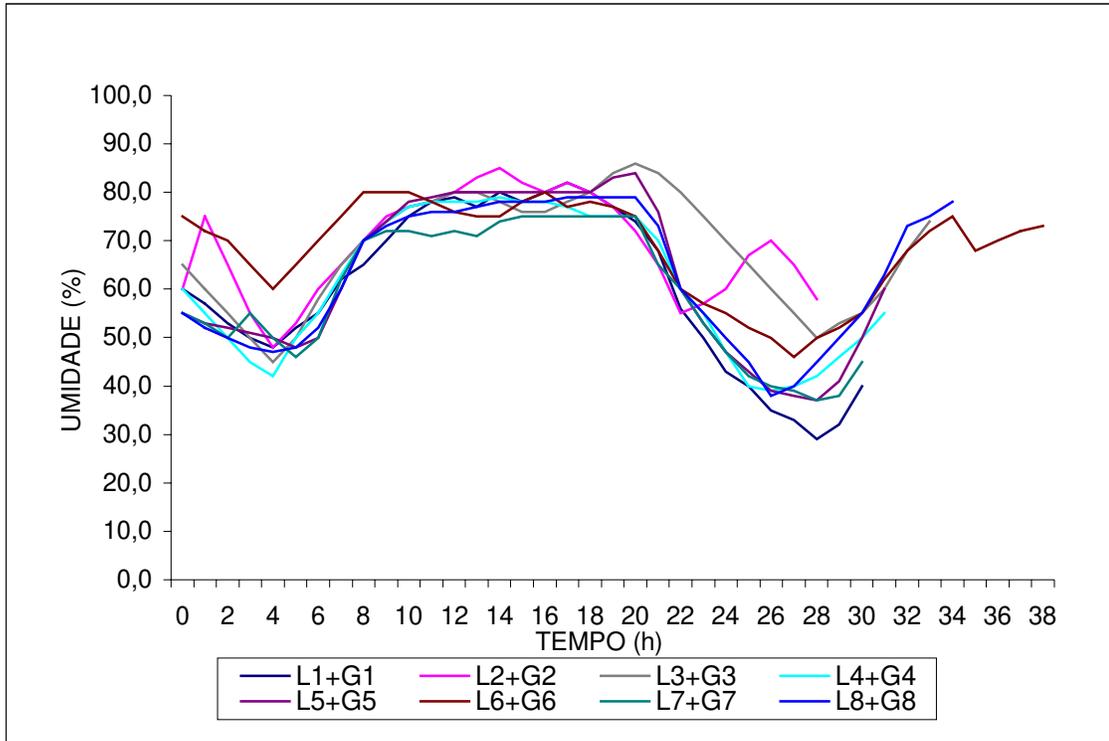


Figura 5.2- Umidade relativa do ar ambiente em 8 pares de secagem de café.

A figura 5.2 mostra as mesmas tendências nas curvas de umidade relativa do ar, ao longo das secagens, com decréscimos iniciais, e próximos das 24 horas de duração, uma vez que o início das secagens deu-se sempre às 12:00h, com exceção nas secagens L2 e G2, devido à ocorrência de chuva após 22 horas de secagem.

## 5.2. Secagem

### 5.2.1 Ajuste de curvas

Observa-se na tabela 5.3 que os dados de secagem obtidos são justificados pelo modelo de regressão linear, com coeficientes de determinação superiores a 97%, exceção à secagem G5, com coeficiente pouco superior a 96%.

Tabela 5.3-Curvas de secagem ajustadas linearmente, em função de diferentes fluxos de ar e temperaturas na massa de grãos.

Secagem	Equação	R <sup>2</sup>
L1	$y = -2,4032x + 83,478$	0.9866
G1	$y = -2,4844x + 85,803$	0.9891
L2	$y = -3,0153x + 87,757$	0.9802
G2	$y = -2,3809x + 79,208$	0.9828
L3	$y = -2,9980x + 95,016$	0.9794
G3	$y = -2,5864x + 94,328$	0.9849
L4	$y = -3,0857x + 102,35$	0.9849
G4	$y = -2,4847x + 88,096$	0.9840
L5	$y = -3,2216x + 92,751$	0.9944
G5	$y = -2,4926x + 89,912$	0.9635
L6	$y = -3,3893x + 130,47$	0.9788
G6	$y = -2,9417x + 121,72$	0.9841
L7	$y = -3,1244x + 103,84$	0.9767
G7	$y = -2,9400x + 96,961$	0.9777
L8	$y = -2,7188x + 98,784$	0.9855
G8	$y = -2,6664x + 102,79$	0.9866

y = umidade (% bu); x = tempo (h)

Apesar de terem sido testados modelos quadráticos e exponenciais, os lineares foram os que mais se ajustaram às secagens realizadas, principalmente em virtude dos teores de umidade iniciais, próximos a 50%(bu), proporcionarem um gradiente elevado de transferência de água, para serem atingidos os níveis de umidade próximos a 12%, quando ocorreu a interrupção de fornecimento de energia, o que não é observado em secagens com teores de umidade iniciais próximos aos 20%, em que, a transferência de água normalmente é justificada através de modelos quadráticos ou exponenciais.

### 5.2.2. Curvas de secagem

Observa-se, nos gráficos que apresentam as curvas de secagem, uma maior oscilação entre as umidades decorrentes das secagens que utilizaram lenha como fonte combustível, em virtude da impossibilidade de se manter as temperaturas do ar constantes, ao longo de todo o processo, ao contrário das secagens que utilizaram GLP, em virtude da presença de termostato que conferiu o abastecimento de ar quente no conjunto, ao verificar variações de temperatura do ar fornecido, de 3°C.

A figura 5.3 mostra o comportamento das secagens realizadas entre os dias 01 e 02/05/02. Foram registradas temperaturas médias de 41,9 e 39,2°C, nas secagens

utilizando lenha e GLP, respectivamente. A secagem com utilização de GLP obteve uma redução de 3,4% no tempo de secagem.

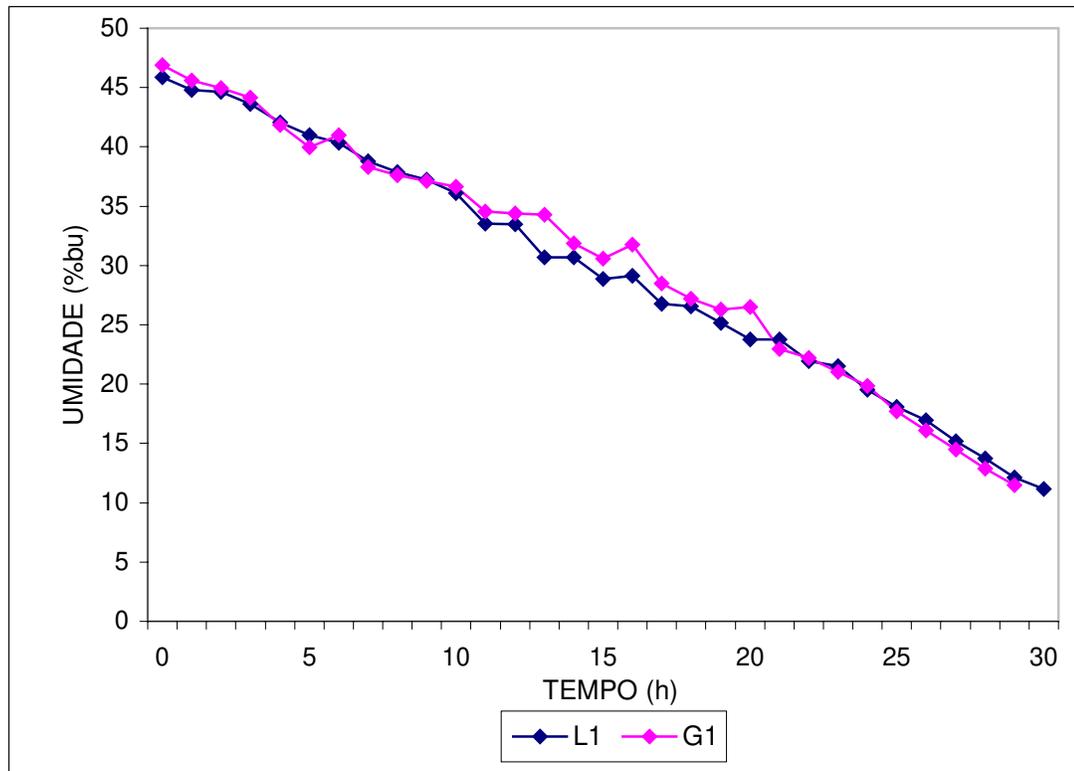


Figura 5.3 - Curvas de secagem de café, para fluxos de ar de 140,74 e 169,94 m<sup>3</sup>. min<sup>-1</sup> e temperaturas de 41,9 e 39,2° na massa de grãos, para lenha e GLP, respectivamente.

Como pode ser observado na figura 5.4, na bateria de secagens realizadas entre 03 e 04/05/02, a secagem que utilizou lenha obteve uma redução de 7,7% no tempo total de secagem.

A observação de pontos ocasionais de aumento do teor de umidade pode ser devida tanto à insuficiência do tempo padrão utilizado na determinação pelo método da estufa, como pela amostragem realizada a partir de um único ponto, no cilindro de secagem; sugerindo-se, para tanto, a determinação do teor de umidade pelo método da estufa até peso constante, bem como a inclusão de mais dois pontos de amostragem, nas secções próximas às extremidades do cilindro, em nível experimental.

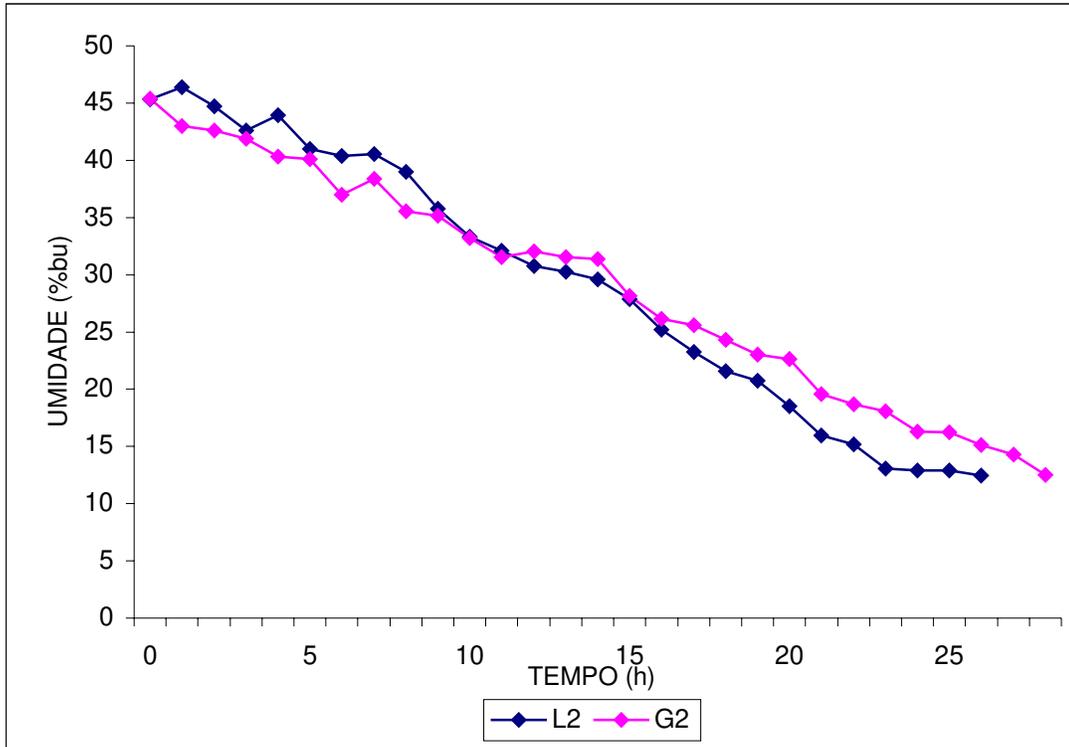


Figura 5.4- Curvas de secagem de café, para fluxos de ar de 141,35 e 169,85 m<sup>3</sup>.min<sup>-1</sup> e temperaturas de 41,24 e 36,36°C, na massa de grãos, para lenha e GLP, respectivamente.

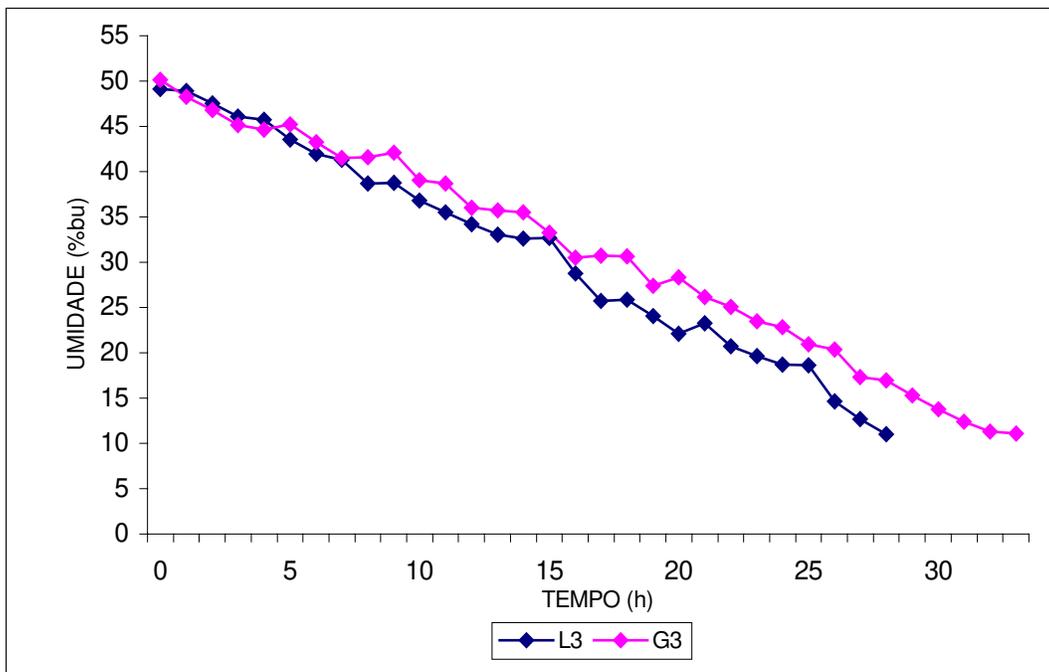


Figura 5.5- Curvas de secagem de café, para fluxos de ar de 138,90 e 170,46 m<sup>3</sup>.min<sup>-1</sup> e temperaturas de 44,43 e 38,63°C, na massa de grãos, para lenha e GLP, respectivamente.

Observa-se, na figura 5.5, que nas secagens realizadas entre os dias 08 e 09/05/02, houve uma redução de 17,9% no tempo total de secagem com utilização de lenha.

O comportamento das secagens realizadas entre os dias 15 e 16/05/02, é demonstrado na figura 5.6.

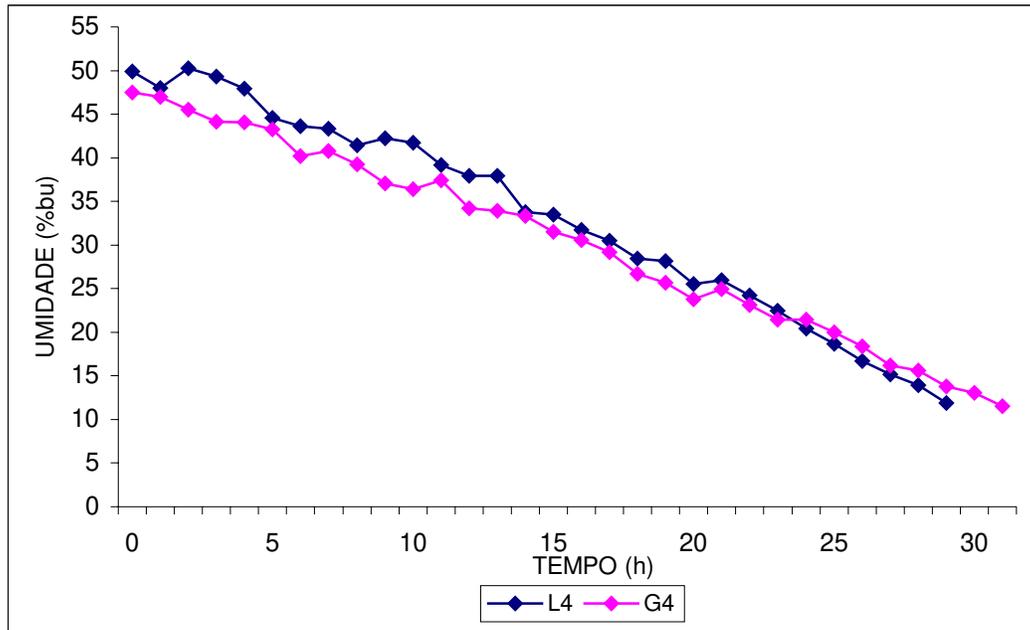


Figura 5.6- Curvas de secagem de café, para fluxos de ar de 143,83 e 171,80  $\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ , e temperatura de 41,10 e 36,30°C, na massa de grãos, para lenha e GLP, respectivamente.

A secagem que utilizou lenha como combustível obteve uma redução de 6,9% no tempo de secagem.

A figura 5.7 mostra o comportamento das secagens realizadas entre os dias 17 e 18/05/02. Como pode ser observado, a secagem que utilizou lenha como combustível obteve redução de 29,2% no tempo total de secagem.

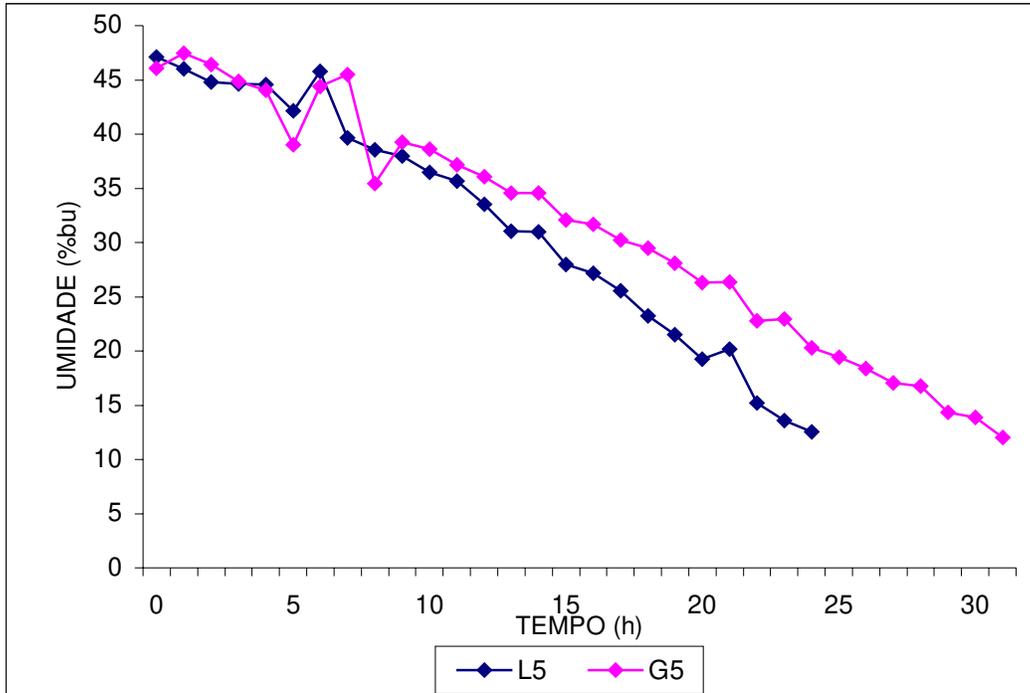


Figura 5.7-Curvas de secagem de café, para fluxos de ar de 141,73 e 170,63 m<sup>3</sup>.min<sup>-1</sup>, e temperaturas de 41,37 e 36,35°C, na massa de grãos, para lenha e GLP, respectivamente.

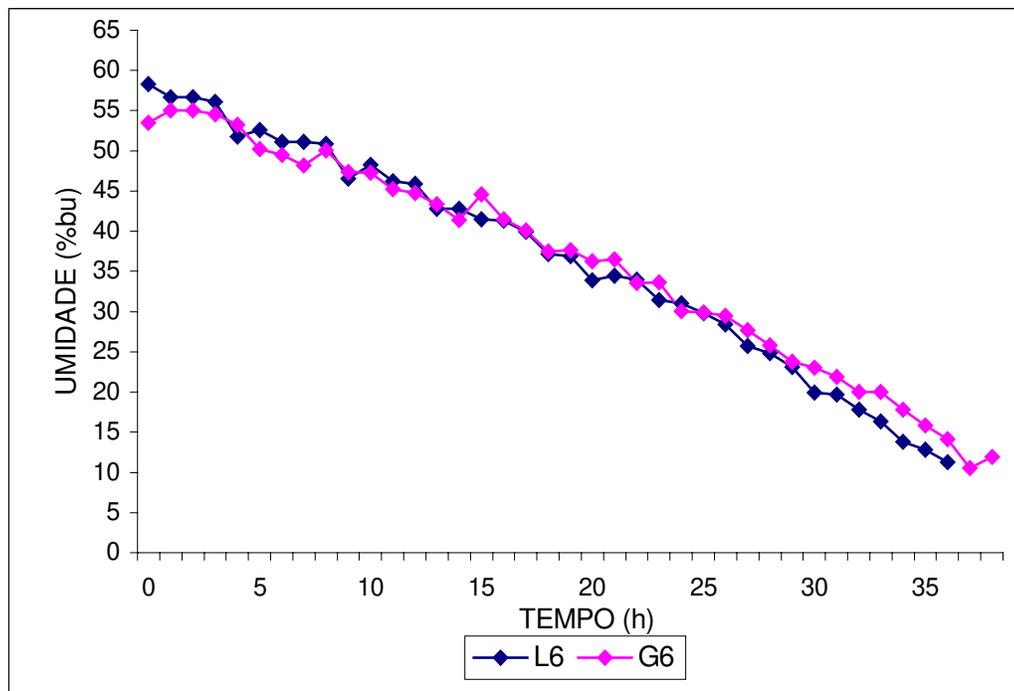


Figura 5.8-Curvas de secagem de café, para fluxos de ar de 141,38 e 171,69 m<sup>3</sup>.min<sup>-1</sup>, e temperaturas de 42,63 e 35,73°C, na massa de grãos, para lenha e GLP, respectivamente.

Observa-se, na figura 5.8 que dados obtidos na realização de uma bateria entre os dias 22 e 24/05/02, ratificou a tendência observada nas secagens anteriores, havendo uma redução de 5,6% no tempo total de secagem, quando utilizou-se lenha.

O comportamento das secagens realizadas entre os dias 24 e 25/05/02 é observado na figura 5.9, onde houve uma redução de 3,4% no tempo de secagem em que o combustível utilizado foi a lenha.

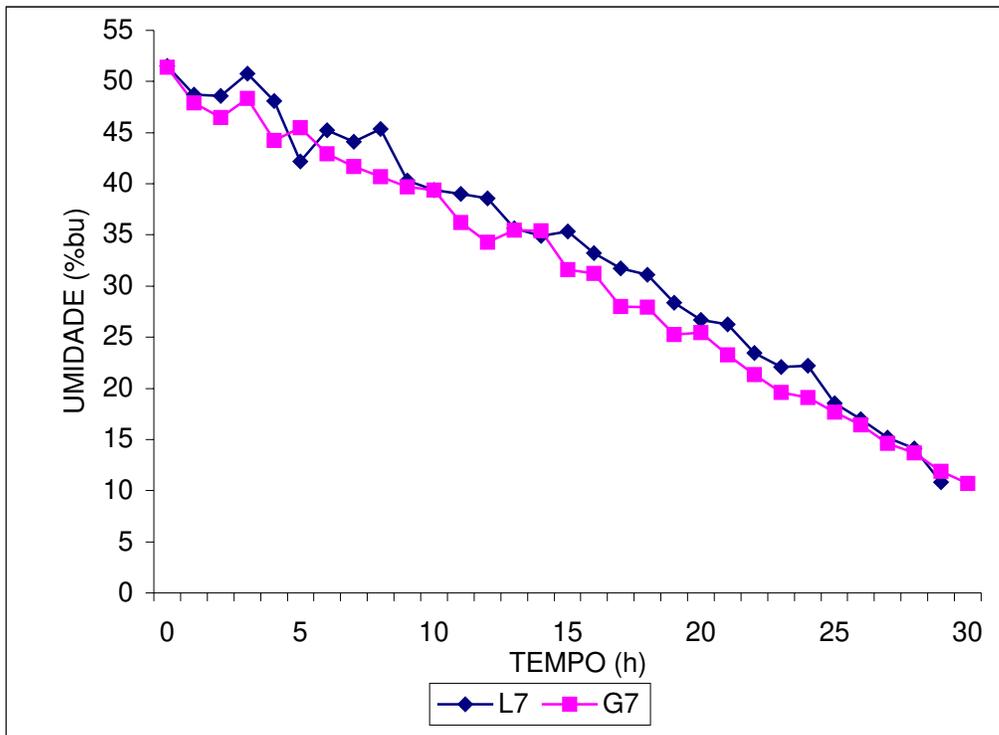


Figura 5.9-Curvas de secagem de café, para fluxos de ar de 143,10 e 174,53 m<sup>3</sup>.min<sup>-1</sup>, e temperaturas de 42,15 e 37,85°C, na massa de grãos, para lenha e GLP, respectivamente.

A última bateria de secagens, realizada entre os dias 30 e 31/05/02, apresentou, de uma forma mais acentuada, as tendências observadas anteriormente, tendo a secagem que utilizou lenha como combustível, uma redução de 20,7% no tempo total de secagem, como pode ser observado na figura 5.10.

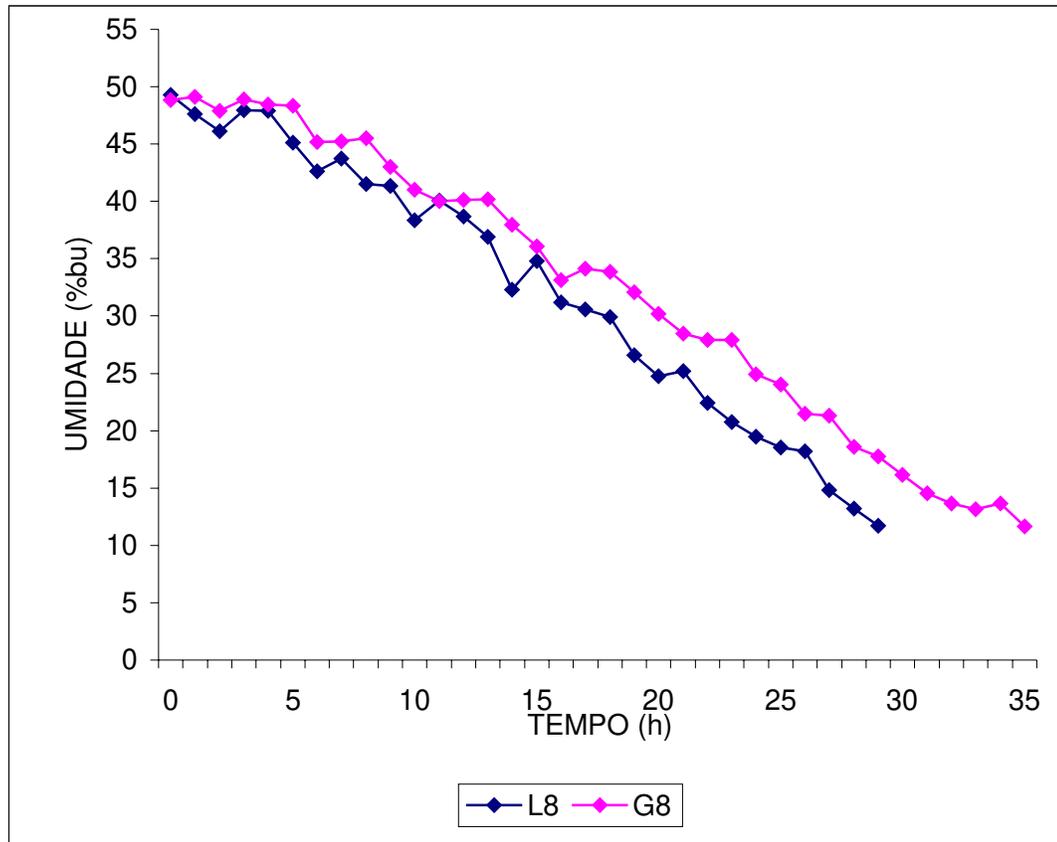


Figura 5.10-Curvas de secagem de café, para fluxos de ar de 143,12 e 126,29 m<sup>3</sup>.min<sup>-1</sup>, e temperaturas de 41,33 e 36,43°C, na massa de grãos, para lenha e GLP, respectivamente.

Os apêndices 1 e 2 correspondem aos modelos de planilhas para coleta de dados de secagem pelo método da estufa e de coleta de dados experimentais, durante o processo de secagem.

### 5.2.3. Água removida

A figura 5.11 apresenta as quantidades de água retiradas em 02 secagens em que foi utilizada lenha como combustível. Como pode se observar, as mesmas não apresentaram volumes decrescentes de retirada, em função do tempo, alternando maiores e menores volumes retirados, cronologicamente, resultantes da impossibilidade de manutenção da temperatura do ar e da massa constantes, pela intermitência do

fornecimento de lenha, bem como em função da obtenção de amostras de café retiradas em um único ponto central do cilindro do secador, que recebe porções de café de vários pontos da câmara de secagem.

A observação revela a necessidade de inclusão de mais pontos de amostragem, radial e longitudinalmente ao cilindro do secador, para análise dos dados médios de retirada de água, com os obtidos neste trabalho.

As planilhas contendo os dados de remoção de água para as secagens que utilizaram lenha e GLP são observadas, na íntegra, constantes dos apêndices 03 e 04, respectivamente.

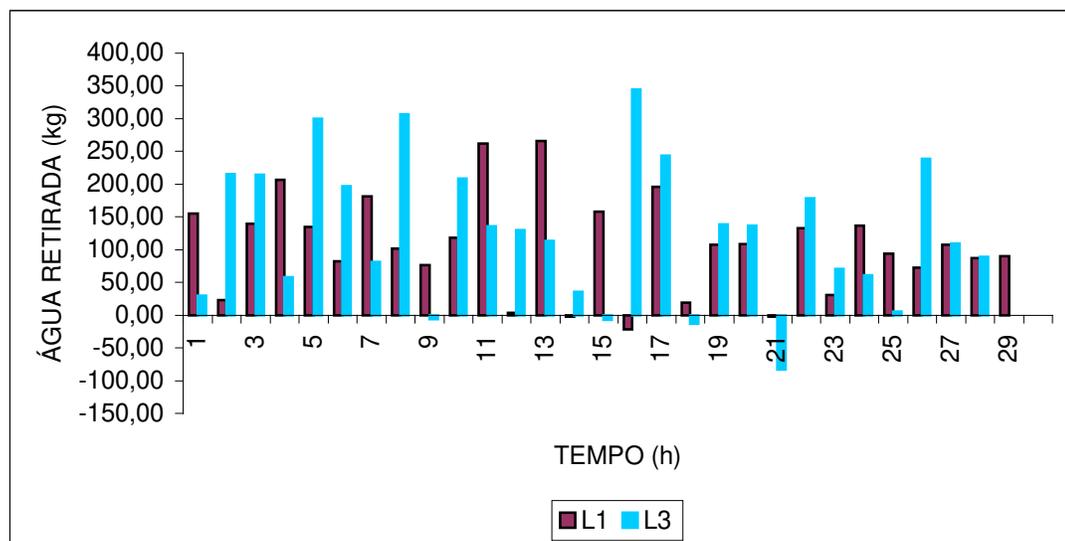


Figura 5.11-Água removida em secagens de café utilizando-se lenha.

Observa-se na figura 5.12 que, utilizando-se o GLP como fonte combustível, embora o sistema tenha proporcionado um maior controle das temperaturas do ar de secagem, e conseqüentemente da massa de café, um único ponto de amostragem para composição das médias de remoção de água em função do tempo, não permite caracterizar como decrescentes as taxas observadas, com destaque para pontos de “umedecimento” da massa de grãos, pela amostragem efetuada, de forma mais acentuada em relação às secagens que utilizaram lenha.

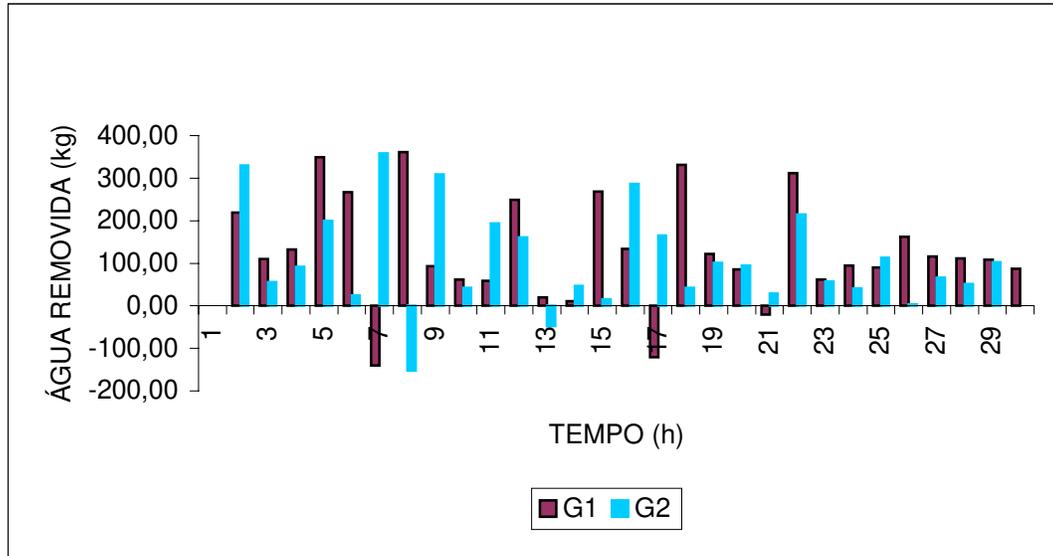


Figura 5.12-Água removida em secagens de café utilizando-se GLP.

#### 5.2.4. Temperatura do ar de saída

As temperaturas do ar na saída do secador são mostradas na tabela 5.4. Os registros revelam um comportamento linear da temperatura do ar de saída, ao longo do comprimento do cilindro, havendo, em alguns casos, uma pequena tendência ao aumento da temperatura do ar nas posições centrais do cilindro de secagem. O posicionamento externo dos sensores, a 2,0 cm da parede do cilindro, pode ter permitido a influência direta da temperatura do ar ambiente sobre os dados das temperaturas do ar de saída, o que, todavia, não prejudica a homogeneidade quanto à distribuição do ar de secagem na massa de café, possivelmente devido à forma geométrica do eixo de alimentação do ar de secagem, associada ao posicionamento angular dos defletores, no interior do cilindro.

A menor diferença entre a média das temperaturas do ar de saída e a temperatura ambiente foi de 7,3°C, observada na secagem L4, que utilizou temperatura de 85,8°C no ar de secagem. A maior diferença, observada na secagem G7, foi de 12,4°C, com a utilização da temperatura de 72,0°C, no ar de secagem. A menor diferença de temperatura entre as posições no ar de saída foi de 0,3°C, obtida nas secagens L1 e G5, e a maior, de 1,7°C, ocorreu nas secagens G7 e L8. Os resultados mostraram uma

tendência em maior homogeneidade nas temperaturas do ar de saída entre os pontos observados, nos testes que utilizaram GLP como combustível, com exceção das secagens L1 e L7, onde observou-se maior homogeneidade com utilização de lenha.

Tabela 5.4 - Temperatura do ar de saída em secador rotativo (°C).

Secagem	Temperatura do ar de secagem (°C)	Temperatura ambiente (°C)	Posições (m)			
			1.00	2.00	3.00	4.00
L1	76.80	27.4	34.1	35.2	35.4	35.1
G1	69.75	27.2	35.0	36.1	36.1	36.5
L2	84.19	25.3	34.4	35.4	35.3	35.1
G2	69.38	25.4	34.5	34.9	35.0	35.0
L3	80.65	25.8	34.0	35.3	34.8	34.4
G3	66.28	25.5	33.7	34.7	34.9	35.2
L4	85.75	24.3	31.1	32.0	31.9	31.4
G4	67.55	24.6	33.0	33.5	33.7	33.7
L5	88.34	24.3	35.1	35.7	34.8	35.4
G5	68.35	26.1	34.0	34.3	34.1	34.1
L6	84.35	23.5	30.5	31.6	31.3	31.1
G6	71.23	23.3	32.0	32.0	32.5	32.7
L7	88.63	20.8	30.8	31.8	31.2	31.7
G7	71.95	21.0	32.1	32.2	33.8	33.1
L8	84.38	23.1	30.6	31.9	31.7	32.3
G8	71.70	22.9	31.5	32.3	32.3	32.2

Os registros de temperatura do ar à saída do secador confirmaram a referência de VIEIRA (1994) e OCTAVIANI (2000), quanto à uniformidade da distribuição do ar quente em contato com os grãos, em secadores rotativos.

### 5.2.5. Massa específica

A figura 5.13 apresenta o comportamento volumétrico do café em pergaminho, em função do tempo de secagem com utilização de lenha.

Há uma tendência decrescente nas médias dos valores de massa específica, nas primeiras oito horas de secagem, resultante da retirada de água no início do processo, considerando-se a remoção inicial da água contida no pergaminho, composto por celulose e, por conseguinte, do endosperma, ressaltando-se a existência de um interstício de ar existente entre as duas estruturas. Observa-se uma segunda tendência, à partir da oitava e estendendo-se até a vigésima quinta hora de secagem, de redução mais lenta da massa específica, resultante da manutenção da estrutura celulósica externa, não sendo

influenciada pela remoção de água do endosperma e, na faixa das últimas 05 horas de secagem, uma terceira tendência, de aumento da massa específica, resultante do rompimento do pergaminho e mesmo de deformação dessa estrutura, provocada pela exposição contínua da massa de grãos à temperaturas em torno dos 40°C, conforme pode ser observado na figura 5.14.

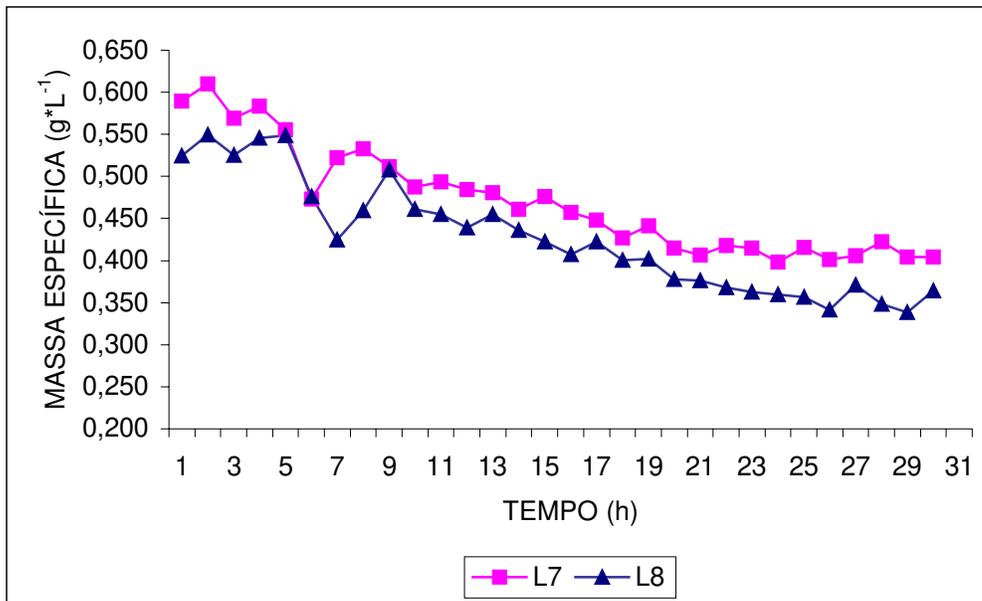


Figura 5.13 – Massa específica de café em pergaminho em função do tempo de secagem com uso de lenha.



Figura 5.14 – Grãos em pergaminhos rompidos e/ou deformados.

A figura 5.15 nos mostra o comportamento da massa específica dos grãos de café, para secagens com utilização de GLP.

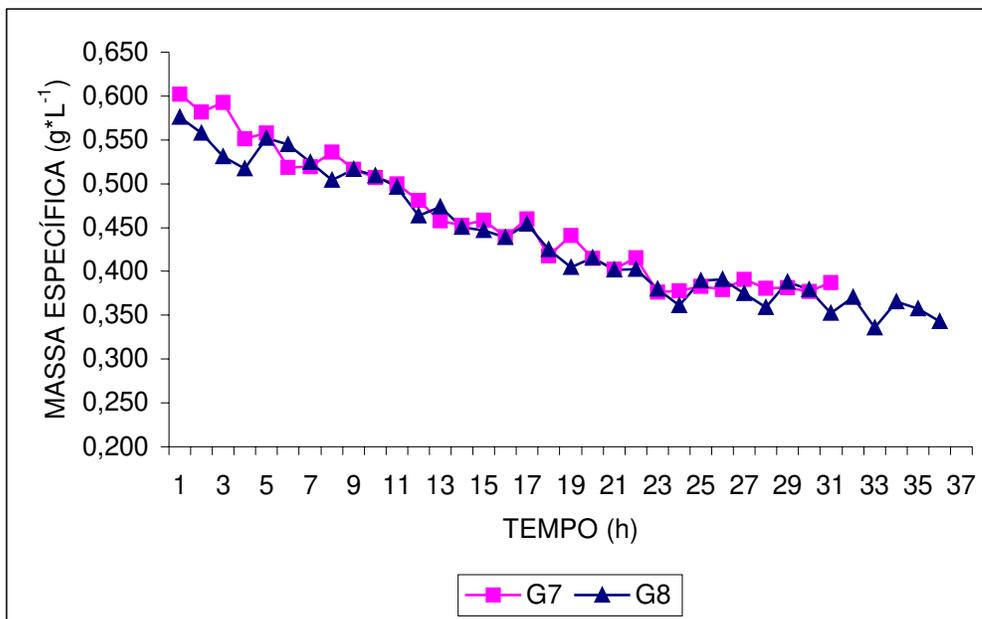


Figura 5.15 – Massa específica de café em pergaminho em função do tempo de secagem com uso de GLP.

As mesmas tendências são observadas, com menores picos de variações, em função do maior controle das temperaturas do ar de secagem e da massa de grãos, ao longo do processo.

As planilhas com os dados de massa específica de café para secagens a lenha e GLP constam dos apêndices 05 e 06, respectivamente.

### 5.2.6. Consumo de GLP

Observa-se, na figura 5.16, o comportamento do consumo de GLP nas secagens de café, em função do tempo.

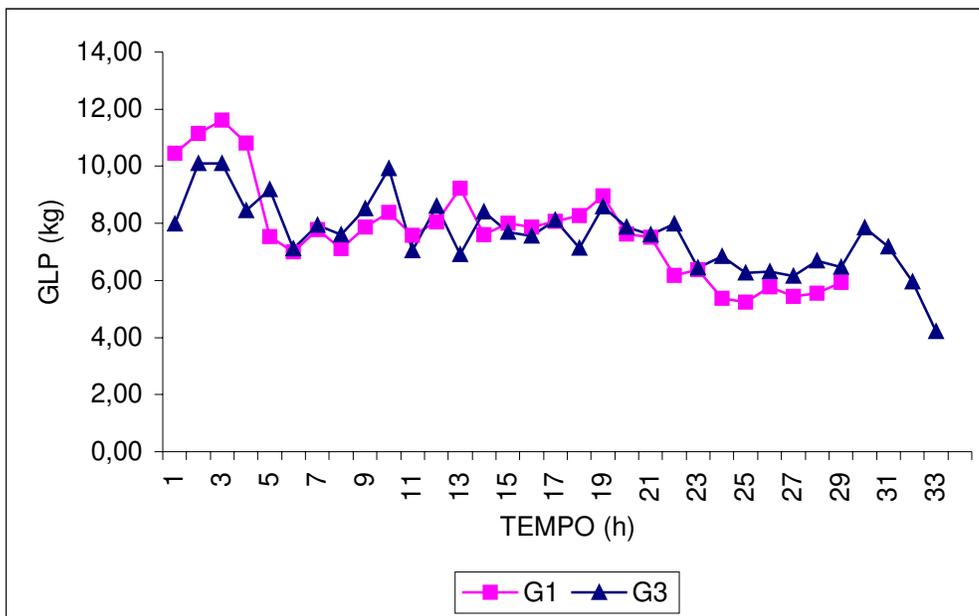


Figura 5.16 – Consumo de GLP em secagens de café.

As primeiras 6 horas de secagens são caracterizadas por um gradiente de consumo mais elevado, com valor médio de  $9,69 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$ , para elevação da temperatura do ar de secagem, em função da necessidade de aumento da temperatura da massa de grãos para compensar o efeito evaporativo da água e conseqüente redução da temperatura da massa de grãos.

Em um segundo intervalo, nas 14 horas seguintes, houve necessidade de redução de fornecimento, com um valor médio de  $8,27 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$ , provocado pela necessidade de se manter a temperatura da massa de grãos em torno de  $35^{\circ}\text{C}$ . No

terceiro intervalo, à partir da 21<sup>a</sup> hora, houve necessidade de nova redução, com valor médio de  $6,13 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$ , para manutenção dos  $35^\circ\text{C}$ , evitando-se a transformação de eventuais grãos verdes em verdes-pretos, o que reduziria a qualidade final do produto.

O consumo médio horário de GLP pode se observado na figura 5.17, onde a média foi de  $8,62 \text{ kg/h}$ , sendo o menor consumo médio observado na secagem G3, de  $7,60 \text{ kg/h}$ , com duração de 33 horas e, o maior, de  $10,25 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$ , com 30 horas de duração, na secagem G7.

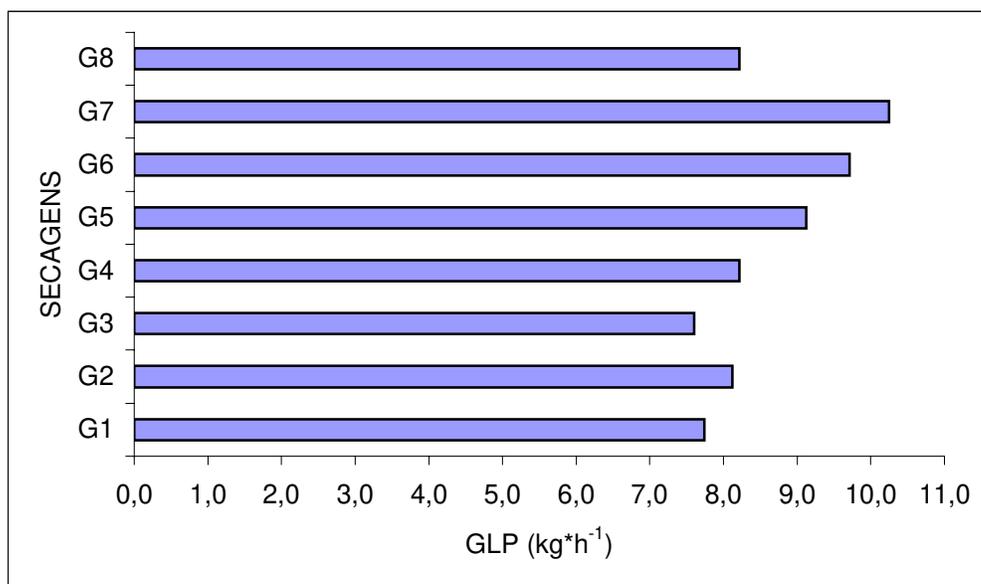


Figura 5.17 – Consumo médio horário de GLP em secagens de café.

Os consumos totais de GLP podem ser observados na figura 5.18.

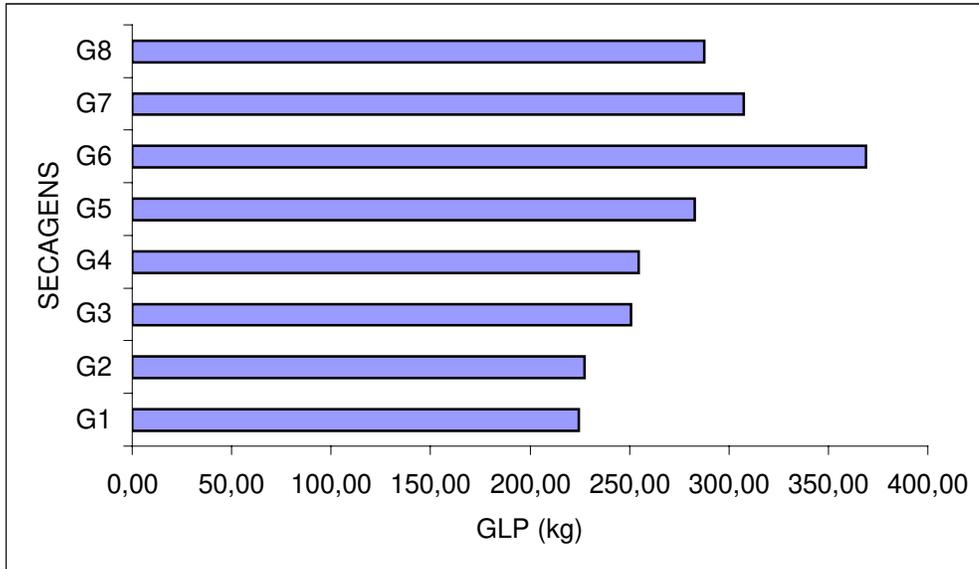


Figura 5.18 – Consumo de GLP em secagens de café.

A média de consumo de GLP foi de 275,52 kg, sendo o menor consumo, de 224,37 kg, observado na secagem G1, com 29 horas de duração e, o maior, de 369,08 kg, na secagem G6, com 38 horas de duração.

OCTAVIANI (2000), secando café em pergaminho em secadores SRE 075, com capacidade para 7.500 litros de café, obteve consumos de GLP que variaram de 170 a 235 kg, ou seja, próximos dos valores obtidos nas secagens G1 e G2, para 15.000 litros de café.

### 5.2.7. Consumo de Lenha

O consumo médio horário de lenha nas secagens de café pode ser observado na figura 5.19.

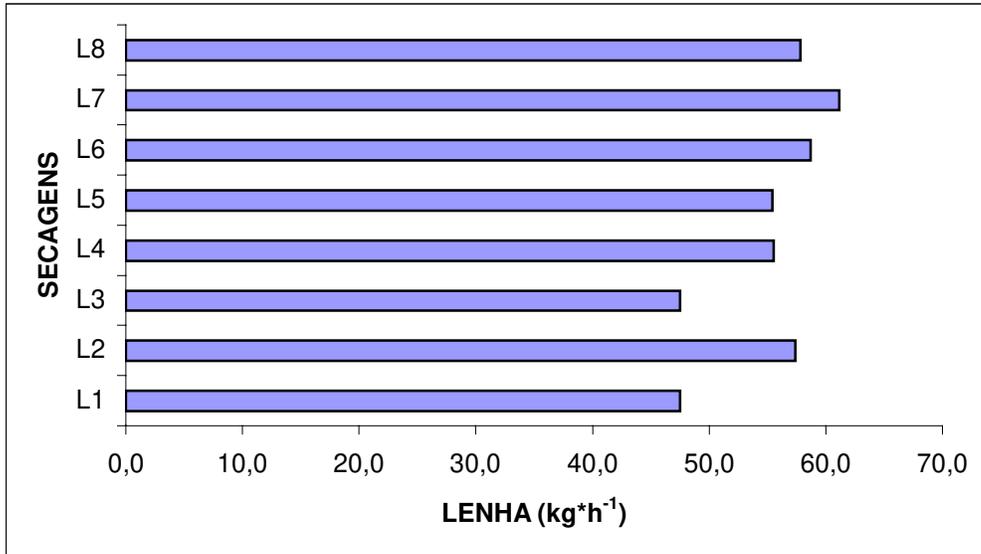


Figura 5.19 – Consumo médio horário de lenha em secagens de café.

O consumo médio de lenha foi de 55,1 kg\*h<sup>-1</sup>, sendo o menor consumo observado nas secagens L1 e L3, com 47,5 e 47,5 kg\*h<sup>-1</sup>, respectivamente e, o maior, obtido na secagem L6, com 58,7 kg\*h<sup>-1</sup>.

A figura 5.20 mostra os consumos totais de lenha em secagens de café.

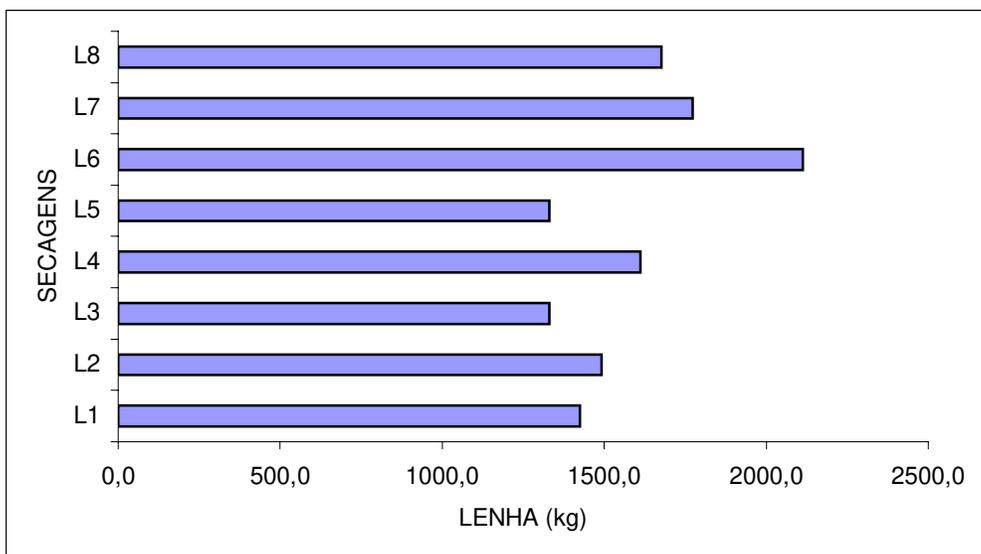


Figura 5.20 – Consumo de lenha em secagens de café.

As secagens apresentaram um consumo médio total de 1593,9 kg de lenha, sendo o menor consumo total observado na secagem L5, com 1330,2 kg e, o maior, na secagem L6, com 2112,4 kg.

### 5.2.8. Consumo de energia combustível

Considerando-se o poder calorífico inferior do GLP (CTGÁS, 2000) em 11.750 kcal\*Kg<sup>-1</sup> (49,12 MJ\*Kg<sup>-1</sup>), e o poder calorífico inferior da lenha de eucalipto (SILVA et al, 1983) em 4.641 kcal\*Kg<sup>-1</sup> (19,40 MJ\*Kg<sup>-1</sup>), a tabela 5.5 apresenta a quantidade de energia despendida por Kg de água retirada, nas secagens de café.

Para as secagens que utilizaram lenha de eucalipto como fonte combustível, o consumo médio de energia em função da água removida foi de 8,99 MJ\*Kg<sup>-1</sup>, enquanto que, para secagens que utilizaram GLP, o consumo médio foi de 3,73 MJ\*Kg<sup>-1</sup>.

Os resultados confirmam as observações de SOBRINHO et al. (2000) quanto a menor eficiência energética da lenha, em relação ao GLP.

Tabela 5.5- Consumo de energia do combustível em secagens de café em função da água removida.

Secagem	Energia consumida (MJ)	Água removida (kg)	Energia consumida*kg de água removida <sup>-1</sup> (MJ)
L1	27656,64	3117,64	8,87
G1	11021,05	3729,60	2,96
L2	28954,50	3099,38	9,34
G2	11166,45	2993,47	3,73
L3	25807,82	3534,04	7,30
G3	12317,82	3668,82	3,36
L4	31253,40	3796,69	8,23
G4	12504,97	3181,68	3,93
L5	25805,88	3264,69	7,90
G5	13895,56	3408,81	4,08
L6	40980,56	5025,62	12,02
G6	18129,21	4312,55	4,20
L7	34392,32	4037,34	8,52
G7	15103,42	4119,14	3,67
L8	32533,80	3349,36	9,71
G8	14128,39	3633,31	3,89

### 5.2.9. Consumo de energia elétrica

Os consumos de energia elétrica podem ser observados na tabela 5.6.

Tabela 5.6- Consumo de energia elétrica em secagens de café.

Secagem	Tempo de secagem (h)	Consumo	Tempo de	Consumo	Tempo de	Consumo	Consumo
		(kW) motor 7,5 hp	elevação (h)	(kW) motor 2,0 hp	rotação (h)	(kW) motor 5,0 hp	total (kW)
L1	30.0	167.85	0.75	1.12	30	111.90	280.87
G1	29.0	162.26	0.75	1.12	29	108.17	271.55
L2	26.0	145.47	0.75	1.12	26	96.98	243.57
G2	28.0	156.66	0.75	1.12	28	104.44	262.22
L3	28.0	156.66	0.75	1.12	28	104.44	262.22
G3	33.0	184.64	0.75	1.12	33	123.09	308.85
L4	29.0	162.26	0.75	1.12	29	108.17	271.55
G4	31.0	173.45	0.75	1.12	31	115.63	290.20
L5	24.0	134.28	0.75	1.12	24	89.52	224.92
G5	31.0	173.45	0.75	1.12	31	115.63	290.20
L6	36.0	201.42	0.75	1.12	36	134.28	336.82
G6	38.0	212.61	0.75	1.12	38	141.74	355.47
L7	29.0	162.26	0.75	1.12	29	108.17	271.55
G7	30.0	167.85	0.75	1.12	30	111.90	280.87
L8	29.0	162.26	0.75	1.12	29	108.17	271.55
G8	35.0	195.83	0.75	1.12	35	130.55	327.50

Os conjuntos de secagem utilizaram 03 motores monofásicos cada, sendo o primeiro, de 2,0 hp destinado à elevação dos grãos de café; o segundo, de 5,0 hp, destinado à movimentação do cilindro do secador e o terceiro, de 7,5 hp, destinado ao ventilador.

O consumo de energia elétrica foi, em média, 10,9% inferior nas secagens que utilizaram lenha, valor diretamente relacionado aos menores tempos necessários à realização de secagem.

### 5.2.10. Rendimento do conjunto motor-ventilador

A tabela 5.7 apresenta o rendimento do conjunto motor-ventilador nas secagens de café

Tabela 5.7 – Rendimento do conjunto motor-ventilador em secagens de café

Secagem	Potência útil (W)	Potência elétrica (W)	Rendimento (%)
L1	1843,72	8465.18	22,15
G1	555,08	9123.62	6,08
L2	1851,56	8489.57	21,81
G2	555,08	9324.81	5,95
L3	1820,18	8422.51	21,61
G3	557,04	9242.51	6,17
L4	1882,94	8373.74	22,49
G4	560,96	9248.60	6,07
L5	1851,56	8440.80	21,94
G5	557,04	9376.63	5,94
L6	1851,56	8374.28	22,11
G6	560,96	9144.96	6,13
L7	1875,10	8401.17	22,32
G7	570,77	9254.70	6,17
L8	1875,10	8459.09	22,17
G8	411,89	8776.11	4,69

O rendimento do conjunto de ventilação, no sistema que utilizou GLP foi, em média, 263% menor em relação ao conjunto do sistema que utilizou lenha, exceção ao par de secagem L8 e G8, em que a diferença entre os rendimentos foi ainda maior, em função de problemas de fornecimento de GLP ao conjunto. Os rendimentos observados no sistema à lenha, confirmam as faixas obtidas em avaliação realizada por BROD & PARK (1998). A grande diferença entre os rendimentos observados reflete a necessidade de um redimensionamento na potência necessária ao motor que opera o ventilador no sistema que utiliza GLP. Os resultados obtidos reforçam a afirmação de SILVA & BERBERT (1999), de que a característica do conjunto de ventilação é de suma importância para o bom funcionamento do sistema de secagem.

#### 5.2.11. Custo das secagens de café

A composição total dos custos de secagem é apresentada na tabela 5.8

Tabela 5.8 – Custos de secagem de café em secador horizontal (R\$ \* kg H<sub>2</sub>O<sub>remov</sub><sup>-1</sup>)

Secagem	Energia Combustível (R\$)	Energia Elétrica (R\$)	Trabalho (R\$)	Depreciação (R\$)	Juros (R\$)	Seguro (R\$)	Reparo (R\$)	Custo Secagem (R\$)	Custo Unitário (R\$*kgH <sub>2</sub> O <sup>-1</sup> )
L1	105,49	47,75	23,10	41,40	39,90	2,40	22,80	282,84	0,091
G1	336,66	46,16	9,57	47,27	45,24	2,61	25,23	512,74	0,137
L2	110,45	41,41	20,02	35,88	34,58	2,08	19,76	264,18	0,085
G2	341,00	44,58	9,24	45,64	43,68	2,52	24,36	511,02	0,170
L3	98,44	44,58	21,56	38,64	37,24	2,24	21,28	263,98	0,075
G3	376,16	52,50	10,89	53,79	51,48	2,97	28,71	576,50	0,157
L4	119,21	46,16	22,33	40,02	38,57	2,32	22,04	290,65	0,077
G4	381,87	49,33	10,23	50,53	48,36	2,79	26,97	570,08	0,179
L5	98,43	38,24	18,48	33,12	31,92	1,92	18,24	240,35	0,074
G5	424,34	49,33	10,23	50,53	48,36	2,79	26,97	609,45	0,179
L6	156,32	57,26	27,72	49,68	47,88	2,88	27,36	369,10	0,073
G6	553,62	60,43	12,54	61,94	59,28	3,42	33,06	784,29	0,182
L7	131,19	46,16	22,33	40,02	38,57	2,32	22,04	302,63	0,075
G7	461,22	47,75	9,90	48,90	46,80	2,70	26,10	643,37	0,156
L8	124,10	46,16	22,33	40,02	38,57	2,32	22,04	295,54	0,088
G8	431,45	55,62	11,55	57,05	54,60	3,15	30,45	643,87	0,177

O custo energético referente ao GLP foi, em média, 2,52 vezes maior que o da lenha, valor menor que o verificado por REINATO et al. (2003).

O custo com energia elétrica para secagens que utilizaram lenha foi, em média, 10,92% inferior ao das secagens que utilizaram GLP, pois o mesmo está diretamente relacionado ao período necessário às secagens simultâneas.

O custo com trabalho foi, em média, 112% inferior nas secagens que utilizaram GLP, devido ao alto grau de automação do sistema queimador.

O custo do capital para o sistema que utilizou GLP como combustível foi, em média, 29,74% superior ao do sistema que utilizou lenha, destacando-se pelo maior capital inicialmente investido, pela vida útil similar ao sistema que utilizou lenha, pela maior taxa de depreciação e de custos referentes ao seguro, juros e reparos.

Com relação às secagens simultâneas, o custo para o sistema que empregou GLP teve valor médio de R\$ 606,42 ± R\$ 88,24, com coeficiente de variação de 14,55%, foi, em média, 110,71% maior que o do sistema que empregou lenha, com valor médio de R\$ 288,70 ± R\$ 38,29, com coeficiente de variação de 13,26%.

O custo unitário, compreendido pelo valor necessário para remoção de 1 kg de água no processo de secagem, foi 111,59% maior no sistema que utilizou GLP, com valor médio de R\$ 0,167 ± R\$ 0,016, com coeficiente de variação de 9,44%. Para o sistema que

utilizou lenha, o valor médio foi de R\$ 0,080 ± R\$ 0,007, com coeficiente de variação de 8,91%.

Considerando-se o valor médio da saca de café beneficiado, em maio de 2002, de R\$ 104,20 (COOPARAISO,2004) e um ágio médio de 15%, para o café cereja descascado desmucilado, pode-se estimar que, para secagens nos sistemas adotados, há necessidade, em média, de 5,06 sacas beneficiadas para suprir o custo médio de cada secagem com utilização de GLP e de 2,41 sacas, para o sistema que utilizou lenha.

A composição dos custos, por categorias, nas secagens de café, são apresentados na tabela 5.9.

Tabela 5.9 - Composição por categorias de custos em secagens de café.

Secagem	Energia Combustível (%)	Energia Elétrica (%)	Trabalho (%)	Depreciação (%)	Juros (%)	Seguro (%)	Reparo (%)	Custo Secagem (%)
L1	37,30	16,88	8,17	14,64	14,11	0,85	8,06	100
G1	65,66	9,00	1,87	9,22	8,82	0,51	4,92	100
L2	41,81	15,67	7,58	13,58	13,09	0,79	7,48	100
G2	66,73	8,72	1,81	8,93	8,55	0,49	4,77	100
L3	37,29	16,89	8,17	14,64	14,11	0,85	8,06	100
G3	65,25	9,11	1,89	9,33	8,93	0,52	4,98	100
L4	41,01	15,88	7,68	13,77	13,27	0,80	7,58	100
G4	66,98	8,65	1,79	8,86	8,48	0,49	4,73	100
L5	40,95	15,91	7,69	13,78	13,28	0,80	7,59	100
G5	69,63	8,09	1,68	8,29	7,94	0,46	4,43	100
L6	42,35	15,51	7,51	13,46	12,97	0,78	7,41	100
G6	70,58	7,71	1,60	7,90	7,56	0,44	4,22	100
L7	43,35	15,25	7,38	13,22	12,75	0,77	7,28	100
G7	71,69	7,42	1,54	7,60	7,27	0,42	4,06	100
L8	41,99	15,62	7,56	13,54	13,05	0,79	7,46	100
G8	67,00	8,64	1,79	8,86	8,48	0,49	4,73	100

A composição percentual média por categorias de custos para secagens à lenha teve, na energia combustível, o principal componente, com 40,76%, seguida da energia elétrica, com 15,95%; da depreciação dos equipamentos, com 13,83%; dos juros sobre o capital investido, com 13,33%; do trabalho, com 7,72%, dos reparos e manutenção, com 7,62% e do seguro, com 0,80%.

Para secagens a GLP, o principal componente no custo foi a energia combustível, com participação média de 67,94%, seguido da depreciação dos equipamentos, com 8,62%; da energia elétrica, com 8,42%; dos juros, com 8,25%; dos reparos e manutenção, com 4,61%, do trabalho, com 1,75% e do seguro, com 0,48%.

### 5.2.12. Eficiência dos sistemas de aquecimento do ar

A tabela 5.10 apresenta a eficiência energética dos sistemas de aquecimento do ar de secagem, composta pela relação entre a quantidade de energia utilizada para o aquecimento do ar e o volume do mesmo.

A média da quantidade de energia necessária ao aquecimento do ar de secagem para o sistema que utilizou GLP, foi de  $0,0428 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-3} \pm 0,006 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-3}$ , com coeficiente de variação de 13,10%, enquanto que, para o sistema que utilizou lenha, a média foi de  $0,1257 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-3} \pm 0,011 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-3}$ , com coeficiente de variação de 8,42%.

Tabela 5.10 – Eficiência de 2 sistemas de aquecimento do ar em secagens de café.

Secagem	Fluxo de ar ( $\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ )	Tempo de secagem (h)	Ar utilizado ( $\text{m}^3$ )	Energia utilizada (MJ)	Eficiência ( $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-3}$ )
L1	140,74	30	253.332	27.656,64	0,1092
G1	169,94	29	295.696	11.021,05	0,0373
L2	141,35	26	220.506	28.954,50	0,1313
G2	169,85	28	285.348	11.166,45	0,0391
L3	138,90	28	233.352	25.807,82	0,1106
G3	170,46	33	337.511	12.317,82	0,0365
L4	143,83	29	250.264	31.253,40	0,1249
G4	171,80	31	319.548	12.504,97	0,0391
L5	141,73	24	204.091	25.805,88	0,1264
G5	170,63	31	317.372	13.895,56	0,0438
L6	141,38	36	305.380	40.980,56	0,1342
G6	171,69	38	391.453	18.129,21	0,0463
L7	143,10	29	248.994	34.392,32	0,1381
G7	174,53	30	314.154	15.103,42	0,0481
L8	143,12	29	249.029	32.533,80	0,1306
G8	126,29	35	272.786	14.128,39	0,0518

A eficiência energética no sistema que utilizou GLP foi, em média, 1,93 vezes superior ao sistema que utilizou lenha, confirmando os resultados obtidos por CARDOSO SOBRINHO et al. (2001).

### 5.2.13. Qualidade

A tabela 5.11 apresenta os parâmetros qualitativos dos cafés.

Tabela 5.11– Qualidade sensorial de cafés secos com utilização de lenha e GLP.

Secagem	Seca	Cor	Aspecto	Bebida
L1	6,5 a	6,5 a	6,0 a	7,0 a
G1	7,5 a	7,0 a	6,0 a	7,0 a
L2	6,5 a	6,5 a	6,0 a	6,5 a
G2	6,5 a	6,5 a	5,5 a	7,5 a
L3	6,5 a	6,0 a	6,0 a	6,0 a
G3	8,0 a	7,0 a	7,0 a	7,5 a
L4	6,5 a	6,0 a	5,5 a	6,5 a
G4	6,5 a	6,5 a	6,0 a	9,0 a
L5	7,5 a	8,0 a	7,0 a	6,0 a
G5	7,5 a	8,0 a	7,0 a	7,5 a
L6	7,0 a	6,0 a	6,0 a	6,0 a
G6	7,0 a	6,0 a	4,5 a	8,5 a
L7	7,0 a	6,0 a	4,5 a	5,5 a
G7	7,0 a	7,0 a	7,0 a	6,0 a
L8	6,5 a	6,0 a	6,0 a	7,0 a
G8	6,5 a	5,5 a	5,5 a	6,5 a

Médias com letras iguais, nas colunas, não diferem entre si, pelo Teste de Tukey (5%).

Observa-se que a qualidade da bebida dos cafés secos não foi influenciada pelos combustíveis utilizados, principalmente em função do uso de secadores e fornalha novos com injeção indireta do ar de secagem, sem qualquer contato de fagulhas ou fumaça com as massas de grãos submetidas aos processos de secagem.

Outro fator que colaborou para a qualidade obtida foi a temperatura da massa de grãos, que não ultrapassou 45°C, em nenhuma das baterias testadas

Para o parâmetro seca, não houve diferença significativa entre a média das amostras analisadas; a análise de variância apresentou um coeficiente de variação de 19,84%. Com referência a cor, as amostras também não apresentaram diferença significativa e a análise de variância apresentou um coeficiente de variação de 15,55%. Quanto ao parâmetro aspecto, as amostras não apresentaram diferença significativa, e a análise de variância apresentou um coeficiente de variação de 21,56%. Para o parâmetro bebida, não houve diferença significativa entre as amostras analisadas, e a análise de variância apresentou um coeficiente de variação de 19,71%

Os coeficientes de variação, considerados altos, refletem a subjetividade da análise sensorial realizada pela prova de xícara, o que reforça a idéia da necessidade de se estabelecer meios químicos e/ou eletrônicos para evidenciar as características dos grãos de café.

## 6. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos no trabalho, considerando as temperaturas e fluxos de ar empregados, as condições ambientais e as umidades iniciais e finais utilizadas nas secagens do café cereja descascado e desmucilado, em secadores horizontais rotativos com utilização de lenha e GLP, permitem as seguintes conclusões:

- A utilização de lenha apresentou menores tempos de secagem.
- A utilização de GLP possibilitou um melhor controle de fluxo de combustível e da temperatura da massa de café, de acordo com o avanço da secagem.
- O fluxo do ar de secagem foi menor nas secagens que utilizaram lenha, em função da perda de carga gerada pela fornalha.
- O queimador utilizado não permitiu a obtenção de temperaturas adequadas para a secagem do volume de café empregado.
- O rendimento do conjunto motor-ventilador foi maior no sistema que utilizou lenha.
- A coleta de amostras de café, pelo orifício central do cilindro do secador, não permitiu o acompanhamento adequado da umidade dos grãos de café.

- As temperaturas do ar de saída nos secadores horizontais rotativos foram homogêneas, ao longo do comprimento do cilindro de secagem.
- A massa específica do café em pergaminho, decrescente desde o início das secagens, apresentou valores crescentes, nas horas finais do processo, em umidades abaixo de 15%.
- A utilização de lenha gerou um consumo de energia combustível maior, em relação ao GLP, por unidade de água removida.
- A utilização de lenha gerou menor consumo de energia elétrica, em função do menor tempo de secagem.
- O custo de secagem no sistema que utilizou GLP foi, em média, 111,5% superior em relação ao sistema que utilizou lenha.
- A qualidade final do café não foi alterada, em função das diferentes condições de secagem.
- Para as condições de secagem utilizadas, o secador SRE-150 com utilização de lenha se mostrou mais eficiente sob os parâmetros tempo e custo e com utilização de GLP, mais eficiente no controle das temperaturas do ar, da massa de grãos e do fluxo de ar.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAHÃO, I.O.; MIRANDA, L.R.F. de; ABRAHÃO, J.T.M. **Aplicação da cristalização sensitiva na determinação da qualidade da bebida do café.** Piracicaba, Anais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, v.33, p. 567-75, 1976.
- AGRIANUAL 2005- **Anuário da Agricultura Brasileira.** FNP/C&C. São Paulo, P.241-256, 2004.
- ATHIÉ, I.; CASTRO, M.F.P.M. de.; GOMES, R.A .R.; VALENTINI, S.R.T. **Conservação de grãos.** Campinas, Fundação Cargill, 1998. 236p,
- BARBOZA, H.,C.A., ALMAYA L., F.L. **Analisis de la calidad del grano y la bebida del café var. Caturra en funcion de la maduracion y tiempo de fermentacion.** Maracay, Agronomia Tropical, v.46, n.3, p.289-311, 1996.
- BARROS, W.J.; FABRI, M.A .; VICENTE, J. da C. **Estudo de otimização energética em operações pós-colheita de café.** Guarapari, 20<sup>o</sup> Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, p.39-41, 1994.
- BÁRTHOLO, G.F.; GUIMARÃES, P.T.G. **Cuidados na colheita e preparo do café.** Belo Horizonte, Informe Agropecuário, v.18, n.187, p.33-42, 1997.

- BÁRTHOLO, G.F.; MAGALHÃES FILHO, A .A .R. de; GUIMARÃES, P.T.G.; CHALFOUN, S.M. **Cuidados na colheita, no preparo e no armazenamento do café.** Belo Horizonte, Informe Agropecuário, v.14, n.162, p.33-44, 1989.
- BORÉM, F. M.; REINATO, C. H. R. **Gradiente de Temperatura e Umidade em Secadores Horizontais.** São Pedro, SP, XXXIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 2004.
- BRANDO, C.H.J. **Introdução do café cereja descascado nas regiões cafeeiras do Brasil.** Araxá, 18º Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, p.86-89, 1992.
- BRASIL, Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. **Regras para análise de sementes.** Brasília, 1992. 188p.
- BROD, F. P. R.; PARK, K. J. **Curvas Características de um Ventilador.** Artigo Exemplo para Aula Prática de FA 372. DPPPAG, Feagri, UNICAMP. 1998.
- BROOKER, D.B.; BAKKER-ARKEMA, F.W.; HALL, C.W. **Drying and storage of grains and oil seeds.** Westport, The AVI Publishing, 1992. 450p.
- BUENO, B.F. **Sistema de análise estatística anova 1.0,** Espírito Santo do Pinhal, 1998.
- CAIXETA, G.Z.T. **Economia Cafeeira, Mercado de Café, Tendências e Perspectivas.** Viçosa, I Encontro sobre Produção de Café com Qualidade, p.1-24, 2001.
- CAIXETA, G.Z.T. **Gerenciamento da Cafeicultura em Época de Crise.** Viçosa, UFV, Tecnologias de Produção de Café com Qualidade, p.3-21, 1999.
- CALDAS, S.F.B.; MATIELLO, J.B. **Viabilidade econômica do uso de GLP associado ao vapor de caldeira para secagem de cafés conillon.** Marília, 26º Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, p. 37-38, 2000.
- CAMPOS, A.C.; LAGE, R.M. **Curso de informação sobre combustíveis e combustão.** Rio de Janeiro, Instituto Brasileiro de Petróleo, apostila, 1977. 14p.
- CARDOSO SOBRINHO, J.; SILVA, J. N. da; LACERDA FILHO, A. F. de; SILVA, J. S. e; CORRÊA, P. 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, Especial n. 3, p. 25-34, 2001.
- CARNEIRO F.º. **Qualidade do café: a necessidade da eliminação de defeitos.** Águas de Lindóia, 22º Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, p.79-80, 1996.

- CARVALHO, V.D. de. **Qualidade do café**. Lavras, UFLA/FAEPE, 1997. 73p.
- CARVALHO, V.D. de; CHAGAS, S.J. de R; CHALFOUN, S.M.; BOTREL, N; JUSTE Jr., E.S.G. **Relação entre a composição físico-química e química do grão beneficiado e qualidade da bebida do café**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.29, n.3, p.449-454, mar. 1994.
- CARVALHO, V.D. de.; CHALFOUN, S.M.; CHAGAS, B.S.S.J.R. **Relação entre classificação do café pela bebida e composição físico-química, química e microflora do grão beneficiado**. Maringá, 15º Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, p.25-26, 1989.
- CHALFOUN, S.M.; CARVALHO, V.D. de. **Classificação de propriedades e municípios cafeeiros da região sul do estado de Minas Gerais quanto a estruturas e procedimentos, visando a preservação da qualidade e sua relação com a população cafeeira**. Águas de Lindóia, 22º Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, p.90-92, 1996.
- CHALFOUN, S.M.; CARVALHO, V.D. de. **Colheita e preparo do café**. Lavras, UFLA/FAEPE, 1997. 49p.
- CLIFFORD, E.A. **LP-Gas service & installation handbook “A practical guide to LP-Gas utilization”**. New York, Moore Publishing Company, Inc., v.1, 1962.
- COOPERATIVA DOS CAFEICULTORES DE SÃO SEBASTIÃO DO PARAÍSO E REGIÃO. **Informativos/números do café**. Disponível em <<http://www.cooparaiso.com.br>>. Acesso em 17 jan. 2005.
- CORTEZ, J.G. **Controle de fermentações indesejáveis no café**. Caxambu, 21º Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, p.54-55, 1995.
- CORTEZ, J.G.; BARROS, U.V.; BARBOSA, C.M., TOLEDO, J.J.J.B. **Sistemas de colheita e processamento do “café da montanha” no leste mineiro e suas influências sobre a bebida e industrialização**. Manhuaçu, 23º Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, p.144-148, 1997.
- CTGÁS – **Apostila de Dados de Unidades de Conversão**. Lagoa Nova – RN, CTGÁS, p. 2-13, 2000.
- CUNHA, J.; SERÔDIO, R.S. **Tecnologia disponível para o beneficiamento e armazenamento do cacau**. Ilhéus, CEPLAC/CEPEC, Boletim Técnico n.º 172, 1991. 45p.

- CUNHA, M.L.; CANTO, M.W.; CORTEZ, J.G.; MARSAIOLI Jr., A. **Ensaio preliminares sobre a secagem de café cereja descascado por ar quente assistido a microondas.** Caxambu, 21º Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, p.147-150, 1995.
- DWYER. **Air velocities with the Dwyer pitot tube.** Michigan City, Dwyer Instruments, Inc., Bulletin n.º H-11, 1992. 5p.
- EGSA- Equipamentos para gás do Brasil Ltda. **Teorias e aplicações de equipamentos para G.L.P.** São Paulo, apostila, s.d. 11p.
- FAZUOLI, L.C. **Cultura do Cafeeiro: Genética e melhoramento do cafeeiro.** Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. Piracicaba, 1986. 447p.
- FAZUOLI, L.C.; MEDINA F.º, H.P.; GUERREIRO F.º, O .; GONÇALVES, W.; SILVAROLLA, M.B.; LIMA, M.M.A. de; CARVALHO, A. (*in memoriam*). **Cultivares de café .** Campinas, IAC, p.1-7, 1999.
- FERRAZ, M. B.; VEIGA, A. A.. **Melhor Bebida e Maior Poder Germinativo.** Boletim da S. S. C., nº 398, ano 35 (1ª parte).
- GARCIA, A.W.R.; MIGUEL, A.E.; NOGUEIRA, V.S., JAPIASSÚ, L.B. **Estudo de secagem do café com queimadores a gás.** Poços de Caldas, 24º Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, p.158-159, 1998.
- GODINHO, R.P.; VILELA, E.R.; OLIVEIRA, G.A. **Deterioração pós-colheita do café.** Poços de Caldas, 24º Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, p.128-129, 1998.
- GUIDA, V.F.A .A. **Influência da temperatura, fluxo de ar e altura da camada de grãos na secagem de café (*Coffea arabica* L.) despulpado em secador experimental de camada fixa.** Lavras, Dissertação (mestrado)- Escola Superior de Agricultura de Lavras, 1994. 57p.
- GUIMARÃES, R.J.; MENDES, A.N.G. **Fisiologia do cafeeiro.** Lavras, UFLA/FAEPE, 1996. 38p.
- HAYWARD, A.T.J. **Flowmeters- A basic guide and source-book for users.** London, The MacMillan Press Ltd., 1981.
- HELLEVANG, J. K.; REFF, T. **Calculating Grain Drying Cost.** AE-923, NDSU Extension Service, Fargo, North Dakota, p. 1-8, 1990.
- IBC-GERCA. **Cultura de café no Brasil: Manual de recomendações.** Instituto Brasileiro do Café/ Grupo executivo de Racionalização da Cafeicultura. Rio de Janeiro, 1985. 580p.

- KREYGER, J. **Practical observations on the drying of seed.** Seed Science and Technology, Zurich, INTERNATIONAL SEED TESTING ASSOCIATION, (1), p.645-670, 1973.
- LASSERAN, J.C. **Características técnicas dos secadores.** Revista Brasileira de Armazenamento, Viçosa, CENTREINAR, 4 (1) p.4-14, 1979.
- LEITE, C.A.M.; SILVA, O.M. da. **Café: Produtividade, Qualidade e Sustentabilidade- A Demanda de Cafés Especiais.** Viçosa, Laércio Zambolim, p.51-74, 2000.
- LOPES, R.P.; AFONSO, A.D.L.; SILVA, J. de S. e; **Secagem e Armazenagem de Produtos Agrícolas: Energia no Pré-processamento de Produtos Agrícolas.** Viçosa, Juarez de Sousa e Silva, p.191-219, 2000.
- LUZIN, L.A.N.R.; LACERDA, L.A.O .; ELIAS Jr., E.G. **Utilização de lavadores e secadores mecânicos no preparo de café na região da noroeste, no estado de São Paulo.** Maringá, 15º Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, p.109-112, 1989.
- MATIELLO, J.B. **O Café do cultivo ao consumo.** São Paulo, Globo, 1991. 320p.
- MATIELLO, J.B. **Quentes como café.** Rio de Janeiro, MAA/PROCAFÉ, 1999. 185p.
- MATSUMOTO, F. **Fórmula de correção para rotâmetro.** São Paulo, não publicado, 1999. 2p.
- MENDES, A.N.G.; ABRAHÃO, E.J.; CAMBRAIA, J.F.; GUIMARÃES, J.R. **Recomendações técnicas para a cultura do cafeeiro no Sul de Minas.** Lavras, UFLA, 1995. 76p.
- MOREIRA, J.R.S. **Fundamentos e aplicações da psicrometria.** São Paulo, RPA Editorial Ltda., 1999. 194p.
- NOGUEIRA, V.S. **Cultura do Cafeeiro: Preparo do café.** Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. Piracicaba, 1986. 447p.
- OCTAVIANI, J.C. **Secagem de Café Cereja Descascado Desmucilado com Utilização de Gás Liqüefeito de Petróleo.** Campinas, Dissertação (Mestrado), Feagri/UNICAMP, 2000. 92p.
- OCTAVIANI, J.C.; BIAGI, J.D. **Custo energético e consumo de gás liqüefeito de petróleo em secagens de café.** Fortaleza, XXIX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, CD Rom, 2000.

- OLIVEIRA, J.A. de.; MATIELLO, J.B.; NOGUEIRA, V.S.; ARAÚJO, J.L. da S. **Avaliação do desempenho de barcaças com fornalha de fogo direto e coletor solar, em comparação com terreiro de alvenaria na secagem de café.** Londrina, 11º Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, p.219-223, 1984.
- OLIVEROS-TASCÓN, C.E.; GUNAZEKARAN, S. **Predicción teórica del consumo de potencia y la tasa promedio de cortante aplicada en el desmucilaginado mecánico del café.** Chinchiná, CENICAFÉ, v.46, n.2, p.112-22, 1995.
- OSÓRIO, A.G.S. **Projeto e construção de um secador intermitente de fluxo concorrente e sua avaliação na secagem de café.** Viçosa, UFV, Dissertação (mestrado), 1982. 57p.
- PEREIRA, R. G. F. A.; VILELA, T.C.; BORÉM, F. M.; ABRAHÃO, A. A.; LOPES, L. M. V. **Classificação da Bebida do Café Cereja Despulpado, Desmucilado, Descascado e Natural.** In: Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil e Workshop Internacional de Café & Saúde. Anais. Brasília, DF Embrapa Café, 2003 (447p.), p. 163.
- PIMENTA, C.J. **Qualidade do café (*Coffea arabica* L.) originado de frutos colhidos em quatro estádios de maturação.** Lavras, Dissertação (mestrado)-Universidade Federal de Lavras, 1995. 94p.
- PINHALENSE S.A. MÁQUINAS AGRÍCOLAS **Instruções para instalação, operação e manutenção de fornos FTC-0, FTC-04 e FTC-05.** Espírito Santo do Pinhal, Manual, 1994. 12p.
- PORTELLA, J. A.; EICHELBERGER, L. **Uso de gás liquefeito de petróleo na secagem estacionária de milho em secador de leito fixo.** Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2001. Disponível: [http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/p\\_co64.htm](http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/p_co64.htm)
- 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.** Caxambu, 21º Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, p.119-121, 1995.
- PUZZI, D. **Abastecimento e armazenagem de grãos.** Campinas, Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1986. 604p.
- REED, R.J. **North american combustion handbook- A basic reference on the art and science of industrial heating with gaseous and liquid fuels.** Cleveland, North American Manufacturing Co., 1983.

- REINATO, C. H. R. **Avaliação Técnica, Econômica e Qualitativa do Uso de Lenha e do GLP na Secagem do Café.** Revista Brasileira de Armazenamento, Viçosa, Edição especial, n. 7, p. 3-13, jul.-dez. 2003.
- REINATO, C. H. R.; BORÉM, F. M.; CARVALHO, F. de M.; PEREIRA, R.; ALVARENGA, G. F. **Eficiência de Secadores Rotativos com Diferentes Pontos para o Controle da Temperatura do Café.** Revista Brasileira de Armazenamento, Viçosa, Especial Café, n. 6, p. 3-9, 2003
- RENA, A.B.; MALAVOLTA, E.; ROCHA, M.; YAMADA, T. **Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade.** Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. Piracicaba, 1986. 447p.
- RIBEIRO, D.M.; BORÉM, F. M.; ANDRADE, E. T. de; ROSA, S. D. FRANCO da. **Taxa de Redução de Água do Café Cereja Descascado em Função da Temperatura da Massa, Fluxo de Ar e Período de Pré-secagem.** Revista Brasileira de Armazenamento, Viçosa, Edição Especial, n. 7, p. 94-107, jul.-dez. 2003.
- SAMPAIO, J.B.R.; AZEVEDO, I.A. **Influência de grãos de café (*Coffea arabica* L.) secos no pé, em mistura com grãos maduros (cereja), sobre a qualidade do café.** Maringá, 15º Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, p.1-3, 1989.
- SANTOS, C. dos; TAIRA, N.M. **Rotômetros para gás- Equações de correção.** São Paulo, 2º Simpósio Brasileiro de Medição de Vazão, p.365-370, 1995.
- SANTOS, J. C. dos. **Conversão para leitura de rotômetros.** São Paulo, Controle & Instrumentação, p.36-40, abril, 1988.
- SÃO PAULO, Secretaria da Agricultura e Abastecimento. **Plano diretor da cafeicultura paulista.** São Paulo, 1994. 22p.,
- SÃO PAULO, Café de São Paulo/ Câmara Setorial de Café da Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo. **Manual de Qualidade.** São Paulo, 1998. 10p.
- SERRANO, R.C. **Tecnología en beneficiado de café.** San José, Tecnicafé Internacional S.A., 1995. 176p.
- SILVA, J. de S. e. ; AFONSO, A.D.L.; DONZELLES, S.M.L. **Secagem e Armazenagem de Produtos Agrícolas: Secagem e Secadores.** Viçosa, Juarez de Sousa e Silva, p.107-138, 2000.
- SILVA, J. de S. e. ; LOPES, R. P.; DONZELLES, S.M.L; MACHADO, M. C.. **Custo e Gerenciamento de Secagem de Café em Sistemas Combinados.** Viçosa, UFV, Tecnologias de Produção de Café com Qualidade, p.475-527, 2001.

- SILVA, J. de S.; BERBERT, P.A. **Colheita, secagem e armazenagem de café.** Viçosa, Aprenda Fácil, 1999. 146p.
- SILVA, L. B. X.; NETO, F. R.; TOMASELLI, I; **Estudo Comparativo da Produção de Biomassa para Energia entre 33 Espécies Florestais.** In. Congresso Florestal Brasileiro, 4, 1982. Anais, Belo Horizonte, SBS/ IBDF/ CNPq/ FINEP, p. 872 – 878. 1983
- SILVEIRA, S. de F.R.; SILVA, J.de S. e; PINTO, F. de A.C.; REZENDE, R.C. **Secagem e Armazenagem de Produtos Agrícolas: Composição do Custo de Secagem.** Viçosa, Juarez de Sousa e Silva, p.221-239, 2000.
- SOBRINHO, J.C.; SILVA, J.N. da; LACERDA F<sup>o</sup>, A. F. de; SILVA, J. de S. e. **Viabilidade da secagem de café usando GLP, lenha de eucalipto e palha de café.** Fortaleza, XXIX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, CD Rom, 2000.
- TAGLILEGNA, G.H.F.; FAVARIN, J.L. **Análise comparativa dos custos de vários métodos de preparo, secagem e beneficiamento de café.** Poços de Caldas, 24<sup>o</sup> Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, p.137-139, 1998.
- TEIXEIRA, A. A.; LEVY, F. DE A.; CARVALHO. A. DE; FAZUOLI, L.C.; ROSATO, D.H.R.; TOLEDO, J.L.B. DE. **Observações sobre várias características do café colhido verde e maduro.** Londrina, 11<sup>o</sup> Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, p.227-228, 1984.
- THOMAS, H.E. **Gas engineers handbook- Production and handling of liquefied petroleum gases.** New York, The Industrial Press Inc., 1965.
- THOMAZIELLO, R.A.; OLIVEIRA, E.G. de.; TOLEDO F.<sup>o</sup>, J.A. de. **Cultura do café.** Campinas, Fundação Cargill, 1996. 69p.
- TOLEDO, F.F.; MARCOS F.<sup>o</sup>, J. **Manual das sementes; tecnologia da produção.** São Paulo, Agronômica Ceres, 1977. 224p.,
- VEGRO, C.L.R.; MORICOCHI, L.; JOHNSON, B. **Café: realidade e perspectivas.** São Paulo, SECRETARIA DE AGRICULTURA E ABASTECIMENTO, 1997. 77p.
- VIEIRA, G. **Secagem intermitente de café (*Coffea arabica* L.) em secadores de fluxo cruzado e em secador experimental de camada fixa.** Lavras, Dissertação (mestrado)- Escola Superior de Agricultura de Lavras, 1994. 91p.
- VIEIRA,G.; ANDRADE, E.T.; OLIVEIRA F<sup>o</sup>, D. **Estudo de três secadores comerciais intermitentes de fluxo cruzado na secagem de café (*Coffea arabica* L.).** Poços de Caldas, XXVII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, p. 109-111, 1998.

VIEIRA, N.; CARVALHO, G. **Café: Produtividade, Qualidade e Sustentabilidade- Perspectivas para Cafés do Brasil.** Viçosa, Laércio Zambolim, p.75-89, 2000.

VIEIRA, G.; VILELA, E.R. **Secagem intermitente de café (*Coffea arabica* L.) em secador experimental de camada fixa.** Lavras, Ciência e Prática, v.19, n.3, p.289-96, 1995.

## APÊNDICE

1- Planilha A: modelo de planilha utilizada para disposição dos dados experimentais dos teores de umidade obtidos através do método da estufa a  $105\pm 3^{\circ}\text{C}/24\text{h}$ .

2- Planilha B: modelo de planilha utilizada para disposição de dados coletados de: tempo de secagem, temperatura do ar ventilado (termômetro industrial), temperatura do ar ventilado (termopar); fluxo de GLP (ou consumo de lenha), temperatura da massa de café (termômetro industrial), temperatura da massa de café (termopar), temperatura do ar em 04 posições à saída dos secadores, pressão de velocidade do ar de secagem em em 5 posições de uma secção do duto de ventilação e amperagem do motor do ventilador. fluxo do GLP, teores de umidade e temperaturas dos grãos no determinador G-600, em 3 repetições.

3 - Planilha C: dados de água removida em secagens que utilizaram lenha.

4 - Planilha D: dados de água removida em secagens que utilizaram GLP.

5 - Planilha E: dados de massa específica em secagens que utilizaram lenha.

6 - Planilha F: dados de massa específica em secagens que utilizaram GLP.

Apêndice 1 - Planilha A

SECAGEM: G1

Hora	Repetição	Cadinho	MassCad	Cad+caf U	Cad+caf S	U% (bu)	média U%
0	1	127	7,4302	9,681	8,5873	48,59	46,90
0	2	128	8,0318	10,2252	9,2432	44,77	
0	3	129	7,7425	9,6646	8,7546	47,34	
0,5	1	130	7,7817	9,8075	8,8703	46,26	
0,5	2	131	7,7433	9,8422	8,8332	48,07	
0,5	3	132	7,8661	9,807	8,9073	46,35	
1	1	133	7,9427	9,8538	8,9657	46,47	45,62
1	2	134	7,8515	9,9581	8,9784	46,51	
1	3	135	7,9748	10,0959	9,1649	43,89	
1,5	1	136	7,8277	9,7621	8,8288	48,25	
1,5	2	137	7,9972	10,1473	9,2253	42,88	
1,5	3	138	8,0491	10,2672	9,2711	44,91	
2	1	139	7,7549	9,7354	8,8726	43,56	44,96
2	2	140	7,993	10,2411	9,2221	45,33	
2	3	141	7,7589	9,8658	8,897	45,98	
2,5	1	142	7,6977	9,7968	8,8405	45,56	
2,5	2	143	7,8855	9,968	9,0676	43,24	
2,5	3	144	7,973	9,8474	9,0551	42,27	
3	1	145	7,9843	9,561	8,8174	47,16	44,14
3	2	146	7,9908	9,9133	9,0918	42,73	
3	3	147	7,7958	9,6857	8,8822	42,52	
3,5	1	148	7,8444	9,864	9,0545	40,08	
3,5	2	149	7,9075	9,8411	9,0473	41,05	
3,5	3	150	7,8583	9,83	8,9651	43,87	
4	1	151	7,7977	9,6445	8,8957	40,55	41,85
4	2	152	7,8948	9,9107	9,0335	43,51	
4	3	153	7,9927	9,924	9,1226	41,50	
4,5	1	154	7,6357	9,6274	8,8264	40,22	
4,5	2	155	7,8621	9,9932	9,1174	41,10	
4,5	3	156	7,9413	10,0616	9,1973	40,76	
5	1	157	7,8729	9,6916	8,9701	39,67	39,97
5	2	158	7,8141	9,8724	9,0244	41,20	
5	3	159	7,7002	9,7101	8,9257	39,03	
5,5	1	160	7,9391	9,8584	9,1193	38,51	
5,5	2	161	7,8741	9,9384	9,097	40,76	
5,5	3	162	7,8842	9,8016	9,0655	38,39	
6	1	163	8,0648	10,1445	9,2703	42,03	40,97
6	2	164	7,9139	9,8709	9,0826	40,28	
6	3	165	7,8905	9,9331	9,1038	40,60	
6,5	1	166	8,0335	10,1062	9,2946	39,16	
6,5	2	167	7,834	9,8342	9,0886	37,28	
6,5	3	168	7,9847	9,8999	9,1568	38,80	
7	1	169	7,9016	9,9916	9,198	37,97	38,32
7	2	170	7,7908	9,7457	8,9813	39,10	
7	3	171	7,8283	9,928	9,1326	37,88	
7,5	1	172	7,8407	10,0593	9,1897	39,20	
7,5	2	173	7,8228	9,8973	9,1123	37,84	
7,5	3	174	8,1312	10,2953	9,4598	38,61	
8	1	175	8,0313	10,1358	9,3103	39,23	37,59

Apêndice 1 - Planilha A

8	2	176	7,7937	9,7012	8,9663	38,53	
8	3	177	7,8583	9,9523	9,2191	35,01	
8,5	1	178	8,827	10,8497	10,1376	35,21	
8,5	2	179	10,8645	12,8699	12,1012	38,33	
8,5	3	180	7,7951	9,728	9,065	34,30	
9	1	181	8,3635	10,401	9,6221	38,23	37,10
9	2	182	8,162	10,0617	9,4133	34,13	
9	3	183	8,3866	10,2865	9,5466	38,94	
9,5	1	184	7,7802	9,839	9,0961	36,08	
9,5	2	185	8,6191	10,6074	9,9223	34,46	
9,5	3	186	11,3028	13,2733	12,6017	34,08	
10	1	187	9,9373	12,0757	11,3006	36,25	36,63
10	2	188	8,1975	10,1915	9,4733	36,02	
10	3	189	10,9716	13	12,237	37,62	
11	1	190	10,5673	12,5779	11,8732	35,05	34,55
11	2	191	11,0167	13,1422	12,4035	34,75	
11	3	192	8,3407	10,3212	9,6509	33,84	
12	1	193	7,8202	9,8365	9,1335	34,87	34,38
12	2	194	7,9864	10,0066	9,3047	34,74	
12	3	195	11,088	13,0955	12,4223	33,53	
13	1	196	7,9755	9,6329	9,0614	34,48	34,29
13	2	197	8,6993	10,7807	10,0643	34,42	
13	3	198	11,553	13,6412	12,932	33,96	
14	1	199	10,9027	12,9927	12,324	32,00	31,87
14	2	200	11,2585	13,2091	12,6153	30,44	
14	3	201	10,7445	12,7581	12,09	33,18	
15	1	202	10,9586	12,9328	12,3195	31,07	30,60
15	2	203	11,3198	13,3413	12,7273	30,37	
15	3	204	11,3116	13,4187	12,7791	30,35	
16	1	205	19,1021	21,077	20,5449	26,94	31,75
16	2	206	18,5802	20,5203	19,7664	38,86	
16	3	207	19,1134	21,1539	20,5529	29,45	
17	1	208	17,5297	19,5184	18,9115	30,52	28,49
17	2	209	19,4115	21,4203	20,8732	27,24	
17	3	210	18,4042	20,4506	19,8836	27,71	
18	1	211	19,0075	21,0824	20,5328	26,49	27,21
18	2	212	19,9312	22,0289	21,4237	28,85	
18	3	213	20,0443	22,1516	21,5978	26,28	
19	1	214	19,7954	21,7037	21,2086	25,94	26,28
19	2	215	19,6528	21,6227	21,114	25,82	
19	3	216	19,9553	21,8405	21,3299	27,08	
20	1	217	19,401	21,4122	20,9084	25,05	26,51
20	2	218	19,2527	21,372	20,842	25,01	
20	3	219	19,5485	21,5433	20,9553	29,48	
21	1	220	18,797	20,9115	20,4275	22,89	22,94
21	2	221	18,733	20,6314	20,1829	23,63	
21	3	222	19,1621	21,1955	20,7421	22,30	
22	1	223	18,9292	21,0909	20,5784	23,71	22,20
22	2	224	20,0615	22,1927	21,7225	22,06	
22	3	225	20,018	22,1153	21,6785	20,83	
23	1	226	18,7887	20,8895	20,4053	23,05	21,03
23	2	227	19,6856	21,6675	21,2737	19,87	

Apêndice 1 - Planilha A

23	3	228	19,0402	21,1286	20,7071	20,18	
24	1	229	19,263	21,3996	20,936	21,70	19,87
24	2	230	17,8446	19,8472	19,4656	19,06	
24	3	231	19,3392	21,4252	21,0319	18,85	
25	1	232	19,3199	21,3312	20,9811	17,41	17,72
25	2	233	19,1935	21,0697	20,7187	18,71	
25	3	234	17,4354	19,4196	19,0814	17,04	
26	1	235	18,2119	20,2918	19,9668	15,63	16,11
26	2	236	19,2778	21,3149	20,9721	16,83	
26	3	237	18,4158	20,4446	20,1228	15,86	
27	1	238	19,9416	21,9075	21,6171	14,77	14,49
27	2	239	19,383	21,3443	21,0577	14,61	
27	3	240	18,849	20,821	20,543	14,10	
28	1	241	6,2532	8,2837	8,0166	13,15	12,85
28	2	242	6,2634	8,2738	8,023	12,48	
28	3	243	6,2375	8,2842	8,0196	12,93	
29	1	244	6,2529	8,259	8,0273	11,55	11,50
29	2	245	6,3399	8,3017	8,0743	11,59	
29	3	246	6,4958	8,5191	8,2894	11,35	

Apêndice 2 - Planilha B

DIA: 1 e 2/05		HORA: 12:00h		COMBUSTIVEL: GLP		SECAGEM: G 1											
Tempo sec (h)	T° vent indust (°C)	T° vent term1(°C)	FluxoGLP (Kg/h)	T° Massa indust(°C)	T°Massa term6(°C)	TERMOPARES				Média Tpar (°C)	PITOTS					Média Pitots	Amperím. (Amp)
						2	3	4	5		1	2	3	4	5		
0	32	28	210882	27	26	25,3	25,2	25,3	25,1	25,2	2,2	2,3	2,3	2,3	2,3	2,28	29,7
0,5	90	71,3	212874	32	31,5	30,8	31,1	30,9	31,1	31,0	2,4	2,4	2,4	2,4	2,6	2,44	29
1	92	77,1	215526	36	34,8	34,3	34,7	34,7	34,3	34,5	2,4	2,4	2,4	2,4	2,6	2,44	29
1,5	90	72,8	217889	36	34,9	35,2	35,7	35,5	35,3	35,4	2	2,3	2,2	2,5	2,6	2,32	29,1
2	91	75,2	220470	38	35,6	36,1	36,6	36,9	36,8	36,6	2,6	2,6	2,4	2,4	2,7	2,54	29,4
2,5	90	75,8	223112	40	36,3	36,5	37,9	38,1	38,3	37,7	2,4	2,5	2	2,5	2,4	2,36	30,6
3	90	76,1	225624	41	37,2	38,2	38,9	39	39,3	38,9	2,3	2,2	2,2	2,5	2,6	2,36	28,5
3,5	90	78,3	228279	42	37,9	38,9	40,2	40,3	40,6	40,0	2,4	2,6	2,4	2,4	2,6	2,48	28,6
4	70	58,3	230421	41	36,5	38,3	39,1	38,8	39,2	38,9	2,3	2,8	2,6	2,7	2,7	2,62	29,2
4,5	70	58,5	232036	40	35,9	37,1	37,7	37,5	37,9	37,6	2,2	2,5	2,2	2,3	2,4	2,32	30
5	70	60,1	233788	39	35,7	36,8	37,5	37,4	37,7	37,4	2	2,3	2,3	2,4	2,6	2,32	30,2
5,5	68	55,4	235381	40	34,9	36,1	37	36,8	37,3	36,8	2,3	2,7	2,4	2,7	2,7	2,56	29,6
6	67	56,7	236901	39	34,7	35,7	36,6	36,1	36,7	36,3	2,4	2,5	2,5	2,4	2,5	2,46	29,9
6,5	63	52,1	238707	38	34,2	34,7	35,4	35,3	35,7	35,3	2,6	2,5	2,4	2,6	2,8	2,58	29,7
7	64	51,9	240359	38	34,1	33,9	34,7	34,8	35,1	34,6	2,2	2,6	2,5	2,4	2,6	2,46	29,9
7,5	64	51,6	241839	37	33,1	33,6	34,3	33,8	34,3	34,0	2,1	2,6	2,6	2,7	2,1	2,42	29,5
8	63	52,1	243520	37	32	33,4	34,1	33,9	33,7	33,8	2,4	2,3	2,5	2,6	2,6	2,48	29,4
8,5	66	52,8	245830	39	33,8	33,2	34,4	33,9	34,3	34,0	1,8	2,4	2,2	2,1	1,6	2,02	28,9
9	69	54,3	247009	38	33,6	33,7	34,3	33,8	34,9	34,2	2,4	2,1	2,4	2,3	2	2,24	31,1
9,5	70	56,3	249001	40	32	33,6	34,8	34,1	34,8	34,3	2,6	2,5	2,4	2,4	2,5	2,48	30,9
10	68	54,3	250734	39	32,2	33,3	34,7	34,2	35,3	34,4	1,6	1,8	2,2	2,4	2,2	2,04	30,7
11	64	55,6	254096	39	32,9	33,4	34,6	34,2	35,1	34,3	2,4	2,4	2,6	2,5	2,4	2,46	30,8
12	69	53,4	257669	40	33,5	33,3	34,8	33,9	35,2	34,3	2,2	2,4	2,6	2,4	2,6	2,44	30
13	60	52,3	261762	38	31,4	31,6	33,2	33,1	33,9	33,0	2,4	2,6	2,4	2,4	2,7	2,50	30,2
14	62	44,6	265140	37	31,1	31,6	33	33,1	33,4	32,8	2,3	2,6	2,7	2,6	2,8	2,60	29,6
15	62	48,3	268694	37	30,1	30,6	32,9	33,2	33,3	32,5	2,2	2,4	2,5	2,9	2,5	2,50	30
16	60	52,1	272190	37	29,9	30,2	32,3	33,6	32,7	32,2	2,4	2,6	2,6	2,7	2,8	2,62	30,2
17	61	51,9	275770	37	29	30,1	32,2	32,4	32,7	31,9	2,4	2,2	2,8	2,7	2,8	2,58	30,3
18	62	46,1	279446	37	29,4	30,3	31,9	32,3	32,6	31,8	2,5	2,6	2,4	2,6	2,9	2,60	29,9
19	70	57,3	283423	40	33,5	32,5	34,2	34,6	35,1	34,1	2,4	2,4	2,2	2,4	2,5	2,38	30,3
20	68	55,4	286806	40	34,2	34	35,3	35,6	36,1	35,3	2,4	2,4	2,6	2,5	2,4	2,46	30,5
21	69	54,8	290140	41	36,3	36,4	37,8	37,9	38,4	37,6	2	2,6	2,8	2,6	2,8	2,56	30,8
22	66	53,5	292880	42	36,9	36,4	37,8	38,4	38,3	37,7	2,4	2,3	2,8	2,6	2,4	2,50	30,6
23	65	56,7	295709	42	36,8	37,5	38,4	38,3	38,9	38,3	2,2	2,5	2,5	2,4	1,9	2,30	31,3
24	69	55,9	298092	42	37,8	38,8	39,8	40,1	40,5	39,8	2,5	2,6	2,4	2,2	2,3	2,40	29,8
25	69	56,6	300420	43	39,3	39,9	40,9	41,4	41,6	41,0	2,6	2,6	2,4	2,5	2,6	2,54	29,5
26	69	56,7	302986	43	40,1	40,8	41,9	42,1	42,3	41,8	2,3	2,4	2,5	2,5	2,8	2,50	31
27	70	63	305406	44	41,5	41,3	42,6	42,6	43,6	42,5	2,4	2,5	2,5	2,5	2,5	2,48	30
28	70	58,9	307868	45	41,9	42,3	43,6	44	44,6	43,6	2,3	2,6	2,5	2,4	2,7	2,50	29,8
29	68	58	310500	47	41,5	39,6	40,6	42,1	42,8	41,3	2,2	2,3	2,4	2,3	2,4	2,32	29,8

Apêndice 3 - Planilha C

Tempo	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	154,64	-164,60	30,24	315,48	166,82	364,53	491,64	247,23
2	23,18	252,76	215,34	-375,67	179,93	-3,09	12,31	214,23
3	139,13	300,71	214,55	162,12	28,19	122,44	-366,88	-264,05
4	206,25	-187,19	57,89	224,98	4,60	805,59	448,82	9,65
5	134,88	402,30	300,01	520,68	331,03	-140,34	842,94	387,21
6	81,81	82,02	197,26	132,75	-507,69	242,35	-414,04	315,75
7	181,08	-23,17	81,29	37,08	815,83	8,57	160,89	-137,06
8	101,59	196,02	307,13	254,34	128,26	30,87	-176,81	269,14
9	75,94	371,63	-6,50	-106,37	72,09	652,73	666,54	24,16
10	118,60	258,36	208,67	72,01	163,69	-238,39	108,38	326,10
11	262,39	118,98	136,15	309,42	89,78	289,91	44,43	-184,79
12	3,77	126,69	130,17	152,11	213,08	34,75	47,61	151,90
13	265,84	50,62	113,10	-1,60	238,18	401,44	316,78	182,17
14	-2,37	56,97	35,20	446,45	6,76	-4,31	77,60	431,76
15	158,51	154,83	-7,52	28,08	262,06	157,78	-47,47	-224,86
16	-21,86	224,93	344,80	168,14	68,13	23,44	211,80	319,97
17	196,20	150,61	243,29	116,50	132,71	149,19	141,38	51,88
18	19,11	127,74	-12,67	181,84	174,83	294,11	56,45	51,77
19	107,42	60,99	138,43	21,21	128,12	21,42	237,31	259,43
20	108,16	151,83	136,38	220,67	153,42	287,93	137,15	133,03
21	-2,25	169,42	-82,75	-39,28	-61,02	-50,75	32,60	-32,39
22	132,39	49,03	178,50	141,07	321,15	44,83	213,22	191,42
23	30,65	129,18	70,48	128,86	96,84	222,34	99,70	107,05
24	136,63	9,56	61,19	144,85	57,90	29,68	-10,51	81,70
25	94,33	2,59	5,69	120,39		101,44	250,87	56,16
26	72,82	26,58	238,47	129,55		111,94	95,83	21,82
27	107,34		109,93	97,72		198,11	109,55	193,17
28	86,75		89,34	71,47		62,83	63,07	87,66
29	89,98			121,86		119,61	186,16	78,14
30	54,74					203,11		
31						12,69		
32						114,25		
33						85,44		
34						137,49		
35						52,16		
36						79,54		
	<b>3117,64</b>	<b>3099,38</b>	<b>3534,04</b>	<b>3796,69</b>	<b>3264,69</b>	<b>5025,62</b>	<b>4037,34</b>	<b>3349,36</b>

Apêndice 4 - Planilha D

Tempo	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	219,47	329,23	305,49	82,69	-235,01	-316,84	611,01	-49,89
2	109,17	55,82	223,90	200,10	182,48	1,29	225,02	202,27
3	132,05	91,40	233,28	191,84	246,87	104,12	-300,23	-168,29
4	349,05	200,10	71,24	3,44	123,42	248,16	628,86	82,03
5	266,65	24,29	-79,04	105,80	698,77	558,11	-184,09	18,93
6	-139,72	358,74	260,05	375,08	-754,13	128,72	359,34	494,70
7	360,35	-152,70	221,18	-74,34	-172,04	216,95	167,52	-14,75
8	93,89	308,18	-7,20	183,45	1358,10	-313,42	122,00	-35,56
9	61,80	42,72	-63,36	227,49	-457,32	437,48	121,66	353,38
10	58,38	193,35	354,61	67,64	82,76	11,13	39,91	258,21
11	248,29	160,60	44,15	-103,55	175,52	303,37	362,13	126,09
12	19,60	-46,84	282,51	320,54	129,58	63,43	199,72	-11,42
13	10,33	47,20	32,60	29,08	168,52	187,71	-121,02	-7,25
14	267,63	15,11	19,63	54,96	5,10	252,05	3,97	263,62
15	132,98	286,44	218,53	165,16	264,58	-421,22	380,68	210,20
16	-120,21	164,36	244,09	78,50	37,04	407,51	35,40	307,10
17	330,71	41,85	-16,90	118,16	147,92	170,95	283,33	-101,34
18	121,75	101,47	3,87	197,20	69,11	300,64	9,15	25,56
19	85,81	94,41	271,13	77,55	132,44	-15,80	213,83	176,10
20	-21,02	29,49	-75,82	135,50	160,82	149,87	-14,01	177,71
21	312,11	214,18	172,93	-82,70	-5,87	-34,10	168,88	149,73
22	61,11	57,66	79,36	128,12	301,59	297,01	139,42	49,39
23	94,28	41,62	118,13	115,87	-15,17	-6,94	123,85	0,90
24	90,76	112,66	44,25	0,97	205,51	330,48	32,28	245,10
25	161,45	3,00	127,70	93,83	64,35	13,17	93,07	68,76
26	115,48	65,83	37,43	102,72	75,33	39,60	80,98	186,33
27	111,81	51,42	193,09	128,21	91,65	147,83	109,70	11,48
28	108,96	101,88	24,65	37,24	22,02	146,64	56,50	189,44
29	86,66		96,69	100,22	159,36	156,94	104,07	53,79
30			88,68	42,09	32,35	50,80	66,20	103,31
31			73,70	78,85	113,14	84,30		101,23
32			56,81			126,50		50,93
33			11,45			-2,42		31,17
34						142,39		-30,68
35						124,33		115,04
36						98,97		
37						199,57		
38						-76,72		
	<b>3729,60</b>	<b>2993,47</b>	<b>3668,82</b>	<b>3181,68</b>	<b>3408,81</b>	<b>4312,55</b>	<b>4119,14</b>	<b>3633,31</b>

Apêndice 5 - Planilha E

Tempo	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8
0	0,532	0,550	0,551	0,587	0,551	0,632	0,589	0,525
1	0,538	0,521	0,539	0,577	0,599	0,624	0,610	0,549
2	0,512	0,538	0,526	0,573	0,566	0,609	0,569	0,525
3	0,500	0,528	0,506	0,566	0,568	0,611	0,583	0,546
4	0,417	0,533	0,435	0,554	0,577	0,611	0,556	0,549
5	0,368	0,508	0,429	0,551	0,539	0,572	0,473	0,476
6	0,401	0,491	0,403	0,525	0,516	0,602	0,522	0,424
7	0,406	0,472	0,360	0,446	0,508	0,591	0,533	0,460
8	0,385	0,472	0,390	0,513	0,502	0,567	0,511	0,508
9	0,316	0,469	0,389	0,507	0,497	0,498	0,487	0,461
10	0,333	0,446	0,365	0,487	0,471	0,477	0,494	0,455
11	0,318	0,448	0,342	0,495	0,477	0,488	0,485	0,439
12	0,302	0,416	0,361	0,486	0,455	0,525	0,481	0,455
13	0,287	0,432	0,363	0,505	0,461	0,504	0,461	0,436
14	0,320	0,421	0,332	0,434	0,442	0,499	0,476	0,423
15	0,320	0,412	0,353	0,431	0,422	0,500	0,457	0,408
16	0,294	0,389	0,326	0,445	0,419	0,496	0,448	0,423
17	0,280	0,380	0,293	0,436	0,419	0,466	0,427	0,400
18	0,297	0,357	0,336	0,431	0,432	0,469	0,441	0,402
19	0,329	0,352	0,316	0,435	0,419	0,464	0,415	0,378
20	0,270	0,330	0,311	0,397	0,405	0,444	0,406	0,376
21	0,339	0,288	0,335	0,419	0,393	0,453	0,418	0,368
22	0,363	0,297	0,303	0,422	0,355	0,450	0,415	0,363
23	0,301	0,213	0,331	0,413	0,338	0,425	0,398	0,360
24	0,332	0,388	0,386	0,403	0,386	0,435	0,416	0,356
25	0,391	0,347	0,387	0,403		0,426	0,401	0,341
26	0,381	0,385	0,385	0,411		0,421	0,406	0,371
27	0,396		0,382	0,418		0,433	0,422	0,348
28	0,392		0,389	0,386		0,420	0,404	0,338
29	0,404			0,373		0,397	0,404	0,364
30	0,424					0,406		
31						0,430		
32						0,380		
33						0,405		
34						0,407		
35						0,407		
36						0,394		

Apêndice 6 - Planilha F

Tempo	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8
0	0,622	0,532	0,557	0,522	0,587	0,610	0,602	0,576
1	0,580	0,526	0,560	0,516	0,596	0,627	0,582	0,558
2	0,543	0,520	0,522	0,500	0,574	0,604	0,593	0,531
3	0,556	0,509	0,523	0,485	0,575	0,629	0,552	0,517
4	0,546	0,520	0,539	0,484	0,557	0,604	0,558	0,552
5	0,505	0,475	0,510	0,475	0,552	0,597	0,519	0,545
6	0,519	0,510	0,486	0,441	0,545	0,593	0,519	0,524
7	0,497	0,495	0,492	0,448	0,540	0,575	0,536	0,504
8	0,478	0,424	0,489	0,431	0,502	0,561	0,516	0,516
9	0,487	0,445	0,471	0,408	0,502	0,560	0,507	0,509
10	0,470	0,416	0,466	0,400	0,498	0,556	0,500	0,496
11	0,476	0,434	0,472	0,411	0,496	0,546	0,481	0,463
12	0,469	0,456	0,432	0,376	0,483	0,523	0,458	0,474
13	0,431	0,418	0,447	0,373	0,463	0,506	0,453	0,451
14	0,461	0,429	0,430	0,366	0,479	0,488	0,458	0,447
15	0,427	0,429	0,417	0,346	0,464	0,499	0,439	0,439
16	0,452	0,391	0,445	0,336	0,421	0,491	0,460	0,454
17	0,448	0,389	0,413	0,321	0,447	0,497	0,418	0,425
18	0,445	0,400	0,429	0,293	0,426	0,476	0,441	0,405
19	0,428	0,402	0,409	0,282	0,423	0,473	0,415	0,415
20	0,405	0,387	0,395	0,261	0,405	0,454	0,403	0,402
21	0,413	0,388	0,402	0,274	0,397	0,484	0,415	0,403
22	0,416	0,355	0,384	0,254	0,393	0,455	0,376	0,380
23	0,397	0,359	0,373	0,236	0,398	0,429	0,378	0,361
24	0,400	0,371	0,392	0,235	0,393	0,442	0,383	0,389
25	0,414	0,351	0,371	0,220	0,402	0,408	0,379	0,391
26	0,387	0,358	0,361	0,202	0,355	0,424	0,391	0,375
27	0,411	0,377	0,366	0,178	0,395	0,404	0,381	0,359
28	0,394	0,365	0,341	0,171	0,392	0,407	0,381	0,388
29	0,406		0,370	0,152	0,351	0,388	0,377	0,379
30			0,372	0,143	0,394	0,411	0,387	0,353
31			0,351	0,127	0,360	0,366		0,370
32			0,365			0,368		0,335
33			0,365			0,368		0,365
34						0,382		0,357
35						0,406		0,343
36						0,395		
37						0,391		
38						0,387		