

SÉRGIO MAURÍCIO LOPES DONZELES

**DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE UM SISTEMA HÍBRIDO, SOLAR E
BIOMASSA, PARA SECAGEM DE CAFÉ
(*Coffea arabica* L.)**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2002

Aos meus pais, João Ribeiro e Maria Aparecida

Aos meus irmãos, Antônio Carlos,

Silvio Roberto, Juarez e Sônia

DEDICO.

A minha esposa, Neusa

A meus filhos, Igor e Iuri

OFEREÇO.

AGRADECIMENTO

À Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), pela oportunidade concedida.

À Universidade Federal de Viçosa, por intermédio do Departamento de Engenharia Agrícola, pela acolhida.

Ao Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café (CBP&D) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ), pelo suporte financeiro.

Ao Centro Tecnológico da Zona da Mata (CTZM/EPAMIG) e a todos os funcionários, pelo apoio no decorrer do curso.

Ao professor Paulo César Corrêa, pelas valiosas orientações, pela confiança e amizade.

Aos professores conselheiros Juarez de Sousa e Silva e Adílio Flauzino de Lacerda Filho, pela participação irrestrita na execução deste trabalho, pelas valiosas críticas e sugestões, pelos ensinamentos e pelo apoio constante.

Aos professores Evandro de Castro Melo e Jadir Nogueira da Silva, pelas contribuições e sugestões.

Aos professores e funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola da UFV, pela amizade e colaboração para a realização deste trabalho.

Aos colegas da Pós-graduação Roberto Precci, Paulo César Júnior, Gilmar Vieira, Márcio Costa, Ivano Devilla, Marilson, José Cardoso, Solenir,

Marisa, Cristiane, Adriana e Adriano, pelo companheirismo, pela amizade, pelas idéias e pelo incentivo.

Aos funcionários do Setor de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas do Departamento de Engenharia Agrícola, Silas, Francisco “Chiquinho”, José Raimundo, Sebastião “Catitú”, Edson e “Inhame”, pela ajuda imprescindível para a conclusão desta tese e a todos que, direta ou indiretamente, tornaram possível a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

Sérgio Maurício Lopes Donzeles, filho de Elpídio Donzeles e Helena Lopes Donzeles, nasceu em Muriaé, Estado de Minas Gerais, em 9 de abril de 1954.

Em 1975, iniciou o Curso de Engenharia Agrícola na Universidade Federal de Viçosa, graduando-se em julho de 1979.

Em agosto de 1979, iniciou o curso de Mestrado em Engenharia Agrícola na Universidade Federal de Viçosa, na área de Pré-Processamento e Armazenagem de Produtos Agrícolas, defendendo tese em março de 1982.

Em 1982 foi contratado pela Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), onde iniciou suas atividades profissionais como pesquisador.

Em março de 1997, iniciou o curso de Doutorado em Engenharia Agrícola na Universidade Federal de Viçosa, na área de Pré-Processamento e Armazenagem de Produtos Agrícolas, submetendo-se à defesa de tese, requisito indispensável para obtenção do título de *Doctor Scientiae*, em março de 2002.

CONTEÚDO

RESUMO.....	ix
ABSTRACT	xi
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	5
2.1. Colheita.....	6
2.2. Qualidade do café.....	9
2.3. Processamento do café.....	12
2.3.1. Processamento por “via seca”.....	13
2.3.2. Processamento por “via úmida”	14
2.4. Secagem de café	15
2.4.1. Secagem artificial em terreiro..	17
2.4.2. Secagem em secadores mecânicos.....	22
2.4.2.1. Secagem a altas temperaturas	22
2.4.2.2. Secador de leito fixo ou camada fixa.....	24
2.4.3. Secagem em baixa temperatura utilizando ar natural	25
2.4.4. Secagem em sistemas combinados	27
2.5. Avaliação de secadores.....	29
2.6. O carvão vegetal como combustível.....	33
2.7. Avaliação econômica.....	35
2.7.1. Análise de investimentos	35
2.7.2. Avaliação dos custos operacionais de secagem.....	35

3. MATERIAL E MÉTODOS	42
3.1. Terreiro Híbrido – solar e biomassa.....	42
3.2. Fornalha a carvão vegetal.....	49
3.2.1. Funcionamento da fornalha.....	49
3.3. Manejo do café no terreiro.....	51
3.4. Tratamentos experimentais.....	53
3.5. Avaliação do desempenho do secador.....	54
3.5.1. Parâmetros relativos aos grãos.....	54
3.5.1.1. Teor de água dos grãos.....	54
3.5.1.2. Determinação da massa do produto.....	55
3.5.1.3. Temperaturas da massa do produto.....	55
3.5.1.4. Qualidade do produto.....	55
3.5.2. Parâmetros relativos ao ar.....	56
3.5.2.1. Temperatura do ar de secagem.....	56
3.5.2.2. Temperatura e umidade relativa do ar ambiente e radiação solar.....	56
3.5.2.3. Medição da velocidade do ar.....	57
3.5.3. Consumo de energia.....	57
3.5.3.1. Motor do ventilador.....	57
3.5.3.2. Combustível.....	58
3.5.3.2.1. Medida da massa específica a granel.....	58
3.5.3.2.2. Análise imediata.....	59
3.5.3.2.3. Determinação do poder calorífico superior (PCS).....	60
3.5.4. Capacidade nominal do secador.....	63
3.5.5. Comparação dos custos de secagem de café em terreiros.....	64
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	65
4.1. Temperaturas e umidades relativas	69
4.2. Características do carvão vegetal.....	76
4.2.1. Massa específica a granel.....	76
4.2.2. Análise imediata.....	76
4.2.3. Poder calorífico superior.....	77
4.3. Curvas de secagem	77
4.4. Consumo de energia.....	80
4.5. Classificação do produto	87

4.6. Manejo do café no terreiro.....	88
4.7. Comparação do custo de secagem de café em terreiros.....	88
5. RESUMO E CONCLUSÕES	91
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	94
APÊNDICE.....	106

RESUMO

DONZELES, Sérgio Maurício Lopes, D.S., Universidade Federal de Viçosa, março de 2002. **Desenvolvimento e avaliação de um sistema híbrido, solar e biomassa, para secagem de café (*Coffea arabica* L.)**
Orientador: Paulo César Corrêa. Conselheiros: Juarez de Sousa e Silva e Adílio Flauzino de Lacerda Filho.

Com o objetivo de adaptar a tecnologia de secagem em terreiro de café, foi projetado, construído e avaliado um sistema de secagem denominado Terreiro Híbrido 1 e 2. O Terreiro Híbrido 1 e 2 é um terreiro convencional com 10 m de largura e 15 m de comprimento, de alvenaria ou concretado, onde se adaptou um sistema de ventilação com ar aquecido por uma fornalha de fogo direto a carvão vegetal, para secagem do café. O Terreiro Híbrido 1 é um sistema de secagem em que o café foi espalhado às 9 horas e enleirado por volta das 15 horas sobre o duto de ar, com a utilização de energia solar e carvão vegetal. O Terreiro Híbrido 2 foi utilizado para secagem do café na ausência de radiação solar direta ou em período chuvoso; o café foi enleirado sobre um duto de ar onde se processou a secagem com carvão vegetal, com uma vazão específica do ar de $5,8 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$. Este processo se repetiu até que o café atingisse o teor de água de 11 e 12 % b.u, umidade segura para armazenamento. Para a avaliação da eficiência energética de secagem dos sistemas, foi calculado o consumo de energia nos Terreiros Híbridos 1 e 2, medindo-se o consumo de combustível na fornalha (carvão vegetal), o consumo de energia elétrica dos

motores do ventilador e a incidência de radiação solar, utilizando-se oito tratamentos em terreiros híbridos e quatro testemunhas em terreiro convencional. Assim, o melhor aproveitamento da energia solar combinada à circulação forçada de ar aquecido artificialmente uniformemente distribuído através do produto no próprio terreiro (Terreiro Híbrido) surge como uma opção promissora para a secagem do café em virtude do baixo custo de implantação proporcionado pela redução de área, além de propiciar uma melhoria na qualidade do café quando comparada à secagem em terreiro convencional. Considerando-se que na maioria das propriedades produtoras de café já existe o terreiro convencional, a implantação deste sistema tornará o processo simples e econômico, bastando apenas a adaptação do mesmo. Com base nos resultados obtidos nos tratamentos experimentais, concluiu-se que: A equivalência, em área, observada experimentalmente, quando se comparou o terreiro híbrido com o tradicional foi: 1:4,5 para a secagem do café cereja descascado e 1:5,5 para a secagem do café cereja lavado. Quanto mais elevado o nível tecnológico do processamento de café, menor o custo de implantação, menor o custo total de secagem e maior o preço médio de comercialização. A capacidade nominal do secador e a taxa de secagem foram maiores quando se utilizou o sistema de secagem em Terreiro Híbrido 2, para um mesmo tipo de café (cereja descascado ou cereja lavado) e a secagem com a utilização dos Terreiros Híbridos 1 e 2 possibilitou a obtenção de um café de boa qualidade, superior à qualidade do café obtido no terreiro convencional.

ABSTRACT

Donzeles, Sérgio Maurício Lopes, D.S., Universidade Federal de Viçosa, March 2002. **Development and evaluation of an hybrid system, solar and biomass, for drying coffee (*Coffea arabica* L.)**. Adviser: Paulo César Corrêa. Committee members: Juarez de Sousa e Silva and Adílio Flauzino de Lacerda Filho.

The objective of this research work was to adapt the drying technology in coffee paved terrace. A drying system called hibrid1 and 2 paved terrace was designed, constructed and evaluated. The hibrid1 and 2 paved terrace is a conventional paved terrace with 10 m of width and 15 m of length by masonry or concreted where was adapted an aeration system with heating air by a furnace direct fire with charcoal for coffee drying. In the hibrid 1 paved terrace was used solar energy and charcoal. The coffee grains were spreaded at nine a.m. and heaped up at about three p.m. on the air duct. The hibrid 2 paved terrace was used for coffee drying in the nonappearance of direct solar radiation or rainy weather. The coffee grains were heaped up on the air duct where the drying was processing with charcoal and specific air flow of $5.8 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$. This process was repeated till the coffee reached the water content of 11 and 12 % bu, which is the safe moisture to storage. To evaluate the efficiency of drying systems was calculated the energy consumption in the 1 and 2 hibrid paved terrace. The fuel consumption in the furnace (charcoal), the consumption of electrical energy of the fan and the incidence of solar radiation were determined by using eight treatments in hibrid paved terrace and

four treatments in conventional paved terrace for comparison purposes. Thus the combination between the best advantage of solar energy and the compelled circulation of artificially heating air distributed by the product in the hibrid paved terrace to appear as a choice to the coffee drying. This system presents a low cost of building proporcionated by the reducing area and the best coffee quality. As in the most properties already exists a conventional paved terrace the building of this system will turn the process more simple and economic being just enough the adaptation of the same. By the results obtained in the experimental treatments it was concluded: the observed equivalence in area was 1:4.5 to the drying of pulped cherry coffee and of 1:5.5 to the drying of washed cherry coffee when the hibrid paved terrace was compared with the traditional. The more high technologycal level of processing coffee smaller the building cost smaller the total drying cost and higher the medium price of commercialization. The dryer nominal capacity and the drying rate were higher when the drying system was used in hibrid 2 paved terrace for the same type of coffee (pulped cherry or washed cherry). The drying in hibrid1 and 2 paved terrace enabled to obtain a coffee of good quality superior to the quality of coffee obtained at the conventional paved terrace.

1. INTRODUÇÃO

A economia cafeeira é uma atividade de grande importância sócioeconômica para o desenvolvimento do Brasil. Foi o empreendimento agrícola pioneiro na formação econômica das regiões mais dinâmicas do País, pois a industrialização do Centro-Sul brasileiro consolidou-se em uma cafeicultura forte, competitiva internacionalmente e geradora de riquezas, apoiando toda a logística de prestação de serviços, como transporte, armazenamento, operação administrativa e distribuição.

Além da importância da cafeicultura no mercado externo, há também a necessidade de suprir o consumo interno, uma vez que o Brasil, como produtor, é um dos maiores consumidores de café do mundo. De acordo com BACHA (1998), o consumo brasileiro é o segundo maior em volume de sacas no mundo e o maior entre os países produtores.

A produção do café brasileiro está concentrada em quatro Estados: Minas Gerais, Espírito Santo, São Paulo, Paraná e Bahia. O Estado de Minas Gerais é líder, produzindo mais de 50% da produção total, seguido pelo Estado do Espírito Santo (SAES e FARINA, 1999).

Dados da Federação da Agricultura do Estado de Minas Gerais (FAEMG), citados por RIBEIRO e MEGAZZOMO (1998a), revelaram que na Região Sul/Oeste de Minas 70,9% das propriedades cafeeiras possuem área de até 10 hectares, participando com 26,4% do parque cafeeiro, o que totaliza 104,5 mil hectares. As fazendas de 10 a 50 hectares representam 24,9% das propriedades produtoras de café e 38,5% do parque, com área total igual a 150

mil hectares. As maiores propriedades, acima de 50 ha, representam 4,2% e participam com 35,6% do parque cafeeiro, totalizando 106,4 mil hectares.

O café foi, e ainda é, para várias regiões produtoras, uma das atividades com maior capacidade geradora de empregos e fixadora de mão-de-obra no campo (BACHA, 1998).

RIBEIRO et al. 1998 citaram que o café já representou cerca de 50% das exportações totais brasileiras no início da década de 60. Em 1990 sua participação na economia nacional situava-se próximo a 5% e em 1994 a receita cambial gerada pelo café chegou a 5,8% do total exportado.

Nos últimos anos, a participação do café nas exportações totais brasileiras variou entre 4 e 5%, com o valor FOB oscilando entre US\$ 2 e US\$ 3 bilhões (ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO CAFÉ, 1999/2000).

Conforme SOUZA (1996), um dos fatores determinantes do declínio brasileiro no mercado internacional foi a estratégia brasileira de exportar grandes quantidades para um mercado em que a exigência quanto à qualidade é sempre crescente. Os principais concorrentes brasileiros perceberam mais cedo a importância de ofertar um produto de melhor qualidade e introduziram modificação significativa em seu produto, como foi o caso da Colômbia, do México e dos países da América Central que, ao produzirem café arábica suave, alcançaram melhores preços no mercado internacional.

Segundo Wiesel, citado por CARVALHO et al. (1997), para a sobrevivência da cafeicultura brasileira, o país tem de seguir o caminho da qualidade; assim sendo, o amplo conhecimento das técnicas de produção de café de alta qualidade é indispensável para a cafeicultura moderna.

Para o mercado exportador é de fundamental importância que a qualidade do café apresente propriedades organolépticas e químicas desejáveis. Estas propriedades são dependentes da eficiência do pré-processamento ao qual o produto é submetido, sendo o método de secagem utilizado a operação que exerce maior influência.

No Brasil, o café é secado empregando-se dois métodos distintos:

- esparramando-se o produto sobre uma superfície pavimentada com cimento ou alvenaria de tijolos ou diretamente sobre o solo compactado e sem pavimentação. Durante o processo, o produto é submetido à contínua movimentação, pela ação mecânica do

homem, e a radiação solar é utilizada como fonte energética para a secagem; e

- em secadores mecânicos, fazendo circular ar aquecido através da massa de grãos com o uso de ventiladores, cuja fonte complementar de energia é feita pela queima de biomassa ou de combustíveis fósseis.

A secagem em terreiros é um método rústico em que o produto fica exposto durante longo tempo às condições ambientais adversas, as quais podem depreciar a qualidade por favorecerem o desenvolvimento de fungos e outras fermentações microbiológicas.

Os secadores mecânicos são tecnologicamente mais desenvolvidos que os terreiros, pois utilizam energia para movimentar o produto e o ar e para aquecer o ar, mas em geral os secadores mecânicos apresentam baixa eficiência de secagem; possuem alto custo e são incompatíveis com o poder aquisitivo do pequeno e do médio produtor rural (OSÓRIO, 1982).

Não existe hoje, de uma forma geral, um sistema de secagem de café que seja satisfatório para a maioria dos produtores. O terreiro é considerado impróprio por expor o produto às condições adversas de clima e apresentar baixa eficiência de secagem e os secadores mecânicos por apresentarem sérios problemas de operação, alto consumo de energia, secagens desuniformes e superaquecimento dos frutos.

As fontes de energia para a secagem artificial de café são fornecidas pela queima de biomassa ou de combustíveis fósseis, sendo esta última menos utilizada em virtude da escassez e do alto custo do petróleo, que teve seu preço majorado nos últimos anos.

As pesquisas realizadas sobre secagem de café, com o intuito de diminuir o custo de produção, têm como objetivo o desenvolvimento de novas alternativas que resultem em economia de energia e redução do custo de implantação e manuseio. Assim, o melhor aproveitamento da energia solar, associado a circulação forçada de ar aquecido artificialmente através do produto no próprio terreiro (Terreiro-Híbrido), surge como uma alternativa técnico-econômica adequada para a secagem do café em razão da redução no custo de implantação do sistema proporcionado pela redução da área do terreiro. Considerando-se que na maioria das propriedades produtoras de café

já existe o terreiro, a implantação deste sistema tonará o processo simples e ainda mais econômico, bastando apenas a adaptação do mesmo.

Tendo em vista os fatos descritos anteriormente e a necessidade de se colocar à disposição do pequeno e médio cafeicultor brasileiro mais uma alternativa tecnológica a custos compatíveis, este trabalho teve como objetivo avaliar um sistema híbrido para secagem, levando em consideração os aspectos operacionais de consumo energético e a qualidade final do produto, além de compará-lo ao sistema tradicional em terreiro.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Entre as espécies de café mais cultivadas no mundo estão a *Coffea arabica*, denominada comumente café arábica, e a *coffea canephora*, também chamada robusta (HAEBERLIN et al., 1993).

A *Coffea arabica* representa aproximadamente 75% da produção mundial (INTERNATIONAL TRADE CENTRE UNCTAD/GATT, 1992), ocupando 70% do mercado internacional. Esta espécie é produzida em grande parte no continente americano, enquanto a *Coffea canephora* é mais plantada nos países africanos e responsável por 30% da produção mundial.

O café arábica, por apresentar melhor qualidade, é uma bebida de maior valor, alcançando preços superiores ao robusta, cuja bebida, considerada neutra, é muito usada em misturas (“blends”) e na indústria de café solúvel e que por ter uma maior concentração de sólidos solúveis, apresenta maior rendimento industrial (PEREIRA, 1997).

A espécie *C. arábica* possui duas variedades principais: Bourbon e Typica. A partir destas, foram criados outros cultivares, como Caturra, Mundo Novo, Catuaí, Acaiá, São Romon, Jamaica Blue Mountain, Sumatra, Moka e outros. Dos cruzamentos das espécies *Coffea arabica* e *Coffea canephora* foram obtidos os híbridos Icatu, Híbrido de Timor, Catimor, Sarchimon Arabusta, Catucaí e outros.

O crescimento e o desenvolvimento do fruto de café ocorre em diferentes estádios fisiológicos que dependem das características genóticas e ambientais. São citados na literatura cerca de um a cinco períodos de crescimento (SALAZAR-GUTIERREZ et al., 1994).

Segundo RENA e MAESTRE (1985), o crescimento compreende basicamente cinco fases: a primeira fase, conhecida por fase chumbinho, é um período sem crescimento visível; a segunda caracteriza-se por um período de expansão rápida do fruto com endurecimento do endocarpo (pergaminho); na terceira é formado o endosperma (fase final de expansão); na quarta ocorre o endurecimento do endosperma, que se prolonga até antes da maturação; e na quinta prevalece a maturação.

Na maturação ocorre uma intensificação de reações metabólicas típicas de frutos climatéricos, caracterizada pela mudança visível de coloração dos frutos que de verdes passam a vermelhos, amarelos ou alaranjados, dependendo do cultivar ou genótipo, do aumento de volume do pericarpo e do adensamento do endocarpo pela deposição de matéria seca, o que ocasiona acréscimo no peso e no tamanho dos frutos (RENA e MAESTRE, 1985).

Os frutos maduros, por possuírem teores ideais dos constituintes químicos responsáveis pelas características sensoriais desejáveis da bebida, determinam, conseqüentemente, a época adequada de colheita.

Segundo BÁRTHOLO et al. (1989), o café é um dos produtos agrícolas cujo preço aumenta significativamente com a melhoria da qualidade, variando de acordo com o seu preparo. As perdas financeiras variam de 10 a 20% de acordo com o aspecto do produto, até 40% em razão da bebida e até 60% em virtude do café de mau aspecto e bebida ruim.

Com o objetivo de avaliar a qualidade do café no Brasil, pela obtenção de um produto caracterizado quanto a tipo, bebida, peneira e cor, foi aprovada pela Comissão Nacional de Normas e Padrões para Alimentos, em maio de 1978, a Resolução nº 12.178 que fixa padrões de qualidade e identidade para alimentos e bebidas, incluindo o café (CARVALHO e CHALFOUN, 1985).

2.1. Colheita

Por apresentar mais de uma floração, o cafeeiro produz, no mesmo ciclo produtivo, frutos com diferentes fases de desenvolvimento. Assim, é importante efetuar a colheita no momento em que a maioria desses frutos se encontrar no ponto ideal de maturação. FREIRE e MIGUEL (1985), ao trabalharem com cafés em vários estádios de maturação, como verde granado, verde cana, cereja, passa e seco, demonstraram que a máxima qualidade do fruto se dá no

estádio cereja, ponto ideal de colheita. O café colhido precocemente, com grande porcentual de verde, provoca prejuízo no tipo e na bebida, podendo também atingir um índice de 20% de perdas em relação ao rendimento final, além de prejudicar o aspecto, a torração, o tipo e a bebida e causar prejuízos por demorar mais tempo no processo de secagem que os frutos maduros (cereja) . Quanto mais tempo o café permanecer na árvore ou no chão, maior será a incidência de grãos ardidos e pretos, causando perda de massa seca e de qualidade (VILELA, 1997a).

No Brasil onde a colheita é feita por derrça de todos os frutos de uma só vez, a colheita deve ser iniciada quando a maior parte dos frutos estiverem maduros. A quantidade ideal de frutos verdes na planta é de 5%, sendo toleráveis quantidades de até 20%, com riscos de prejuízos sobre a qualidade (BÁRTHOLO e GUIMARÃES, 1997).

O período de colheita varia entre as diferentes regiões em função da altitude, latitude e condições climáticas locais e da cultivar. Quanto maior a altitude e menor a temperatura numa mesma latitude, mais retardada será a maturação. A ocorrência de estação chuvosa durante a fase de maturação também prolonga o período de colheita (IBC, 1985).

No Brasil, o processo de maturação ocorre geralmente entre março e abril nas regiões mais quentes, podendo alcançar julho e agosto. Nas regiões mais frias, a colheita é efetuada entre abril e setembro, podendo estender-se até meados de dezembro em lavouras da cultivar Catuaí e Obatã, localizadas em regiões muito frias (MATIELLO, 1991; CAMPOS, 1998).

A colheita é feita basicamente a dedo, mecanicamente ou na forma de derrça sobre pano ou no chão.

- a) colheita a dedo: é uma colheita seletiva em que é colhido somente o grão maduro do café no estágio cereja. É utilizada em locais onde o florescimento ocorre durante o ano todo, como na Colômbia, provocando grande desuniformidade na maturação.
- b) colheita mecânica: indicada principalmente para regiões onde existe dificuldade de mão-de-obra e onde a topografia plana ou levemente ondulada permite o uso de máquina.
- c) derrça: no Brasil predomina a colheita por derrça, em que é colhida uma mistura de frutos de diferentes características com relação à maturação, cor, densidade e teor de água, como pode ser observado

no Quadro 1. Neste tipo de colheita todos os frutos são derrichados da árvore ao mesmo tempo, manualmente ou com o auxílio de ferramentas ou máquinas. A derricha pode ser feita sobre pano ou no chão.

Na derricha feita no pano, um anteparo é estendido sobre o solo para que os frutos não fiquem em contato com a terra. O café, após derrichado, deve ser abanado no mesmo dia e levado para a lavagem. Em seguida é feita a varrição, que consiste em recolher o café existente no chão, rastelando ou varrendo, e depois separando-o da terra, dos paus e das folhas. Este café de varrição deverá ser processado e armazenado separadamente, pois devido ao contato com a terra sua qualidade poderá ficar comprometida.

Quadro 1 – Teores de água nos diversos tipos de café colhido

Tipos de Café	Teor de Água (% b.u.)
Verde	60 – 70
Cereja	45 – 55
Passa	30 – 40
Coco	20 – 30
Ao ser despulpado	50 – 55
Café beneficiado	10 – 12

Fonte: BARTHOLLO e GUIMARÃES (1997) e CHALFOUN e CARVALHO (1997)

Na derricha no chão, primeiramente deve ser feita a varrição para separar o café que já caiu daquele que será colhido. Promove-se então a derricha e no mesmo dia recolhe-se o café para que este não fique muito tempo em contato com a terra. Os dois lotes assim obtidos devem ser preparados separadamente, pois terão qualidades diferentes (BARTHOLLO e GUIMARÃES, 1997).

Segundo VILELA (1997b), para a derricha no chão é muito importante a rapidez da operação porque a deterioração ocorre em razão da temperatura, da umidade relativa e do tempo. A alta concentração de açúcares, juntamente com o teor de água elevado da polpa e da mucilagem (70 a 90% b.u.), é condição apropriada para o desenvolvimento microbiológico e, conseqüentemente, fermentações indesejáveis, com formação de sabores estranhos alterando, posteriormente, a bebida.

Respeitadas as capacidades das infra-estruturas de processamento do café, a colheita deve ser realizada no menor intervalo de tempo possível, evitando-se que a mesma coincida com as floradas do novo ano agrícola.

2.2. Qualidade do café

A definição objetiva da qualidade de um produto é dificultada por existir uma relação de dependência do mesmo com o mercado de destino, assumindo o consumidor um papel preponderante neste contexto. De maneira abrangente, a qualidade pode ser definida como o conjunto de características físicas, sensoriais e químicas que induzem a uma maior aceitação do produto pelo consumidor. Atributos da qualidade de um alimento, como aparência, sabor, odor, textura, valor nutritivo e segurança, apresentam alta variabilidade em termos de importância em consequência das diferentes prioridades de cada segmento da cadeia de comercialização, do produtor ao consumidor. Comerciantes e distribuidores geralmente consideram a aparência como atributo de maior relevância, mas os consumidores, além de se preocuparem com os aspectos externos, preocupam-se com as características sensoriais (CHITARRA e CHITARRA, 1990).

A qualidade do café depende principalmente da forma como ele é cultivado, colhido e processado. A obtenção de um produto de boa qualidade depende de fatores inerentes a planta, como a genética das variedades, e de fatores referentes ao ambiente externo da planta, como fertilidade do solo, condições climáticas, pragas e doenças. As operações de colheita, preparo, armazenamento e beneficiamento devem ser realizadas de forma a manter a qualidade obtida no campo.

O ataque por microrganismos é extremamente prejudicial à qualidade do grão de café, podendo ocorrer em diversas fases do ciclo produtivo; entretanto, a adoção de técnicas adequadas de manejo pode minimizar a presença e a ação desses microrganismos.

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

- maior facilidade na colocação do produto no mercado interno e principalmente no mercado externo; e

- obtenção de preços mais elevados.

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

Os processos de fermentação que ocorrem durante a secagem são responsáveis também pela queda na qualidade de bebida do café (Bitancourt citado por COSTA e CHAGAS, 1997).

Entre os vários fatores que podem afetar a qualidade de bebida do café está a secagem dos frutos na planta. SAMPAIO e AZEVEDO (1989), trabalhando com frutos secos ainda no pé em porcentagens crescentes de 0, 5, 10, 15, 20, 25 e 30% de peso, em mistura com grãos de frutos maduros (cereja) da cultivar Mundo Novo, observaram que a qualidade da bebida foi afetada a partir do nível igual ou superior a 10%, resultando sempre em bebida “dura”.

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

O café é um dos poucos produtos cujo valor aumenta significativamente com a melhoria da qualidade. Um produto de qualidade inferior pode sofrer redução no preço de até 40% (CARVALHO e CHALFOUN 1985). O café brasileiro, por sua qualidade inferior, alcança menor preço se comparado aos cafés finos produzidos em outros países, principalmente Etiópia, Quênia e Colômbia.

Diversos parâmetros são utilizados para a classificação de cafés no Brasil e até os dias atuais continuam servindo como base para exportação do produto. Jobin, citado pela OIC (1992), afirmou que com tantos parâmetros, como o número de defeitos (do tipo 2 ao 8), o tamanho dos grãos (peneira 13 até 20), a cor (verde azulado até amarelo pálido ou esbranquiçado), a forma do

grão (grão moca até grão elefante) e as características da bebida (de estritamente mole a rio), é impossível estabelecer uma classificação segura.

A classificação por tipo é feita pela soma do número de defeitos encontrados em amostras de 300 gramas de café beneficiado, sendo que pela Tabela Oficial Brasileira de Classificação cada defeito possui sua equivalência e a mesma admite sete tipos de valores decrescentes em termos de qualidade (IBC, 1985).

Apesar dos esforços para reduzir o número de defeitos no processo de produção e preparo pós-colheita, a média dos tipos dos cafés produzidos tem sido inferior a 7, no entanto as exigências dos países importadores são cafés do tipo 6 para melhor e alguns do tipo 4 (CARNEIRO FILHO, 1996).

Os grãos defeituosos e as impurezas de origens diversas depreciam o café, que passa a ter valores diferenciados. O grão preto é considerado o pior defeito intrínseco, seguido dos grãos ardidos e verdes. Cada cinco grãos verdes, dois ardidos ou um preto correspondem a uma unidade de defeito (TEIXEIRA, 1984).

A qualidade do café como bebida é obtida por provadores treinados com base no sabor e no aroma que o café apresenta. A subjetividade da prova de xícara é bastante discutida visto ser limitada pela aptidão do provador. Estudos estatísticos têm colocado em dúvida a precisão com que estes provadores classificam o café em relação à qualidade da bebida (CORTEZ, 1988).

Segundo ARAÚJO (1996), a bebida “mole” caracteriza-se por um padrão que se traduz num gosto agradável, brando e doce. A partir da bebida mole as demais podem ser classificadas da seguinte forma:

- estritamente mole: possui os mesmos requisitos da bebida mole, porém com aroma e sabor mais acentuados;
- apenas mole: bebida de sabor suave, com leve adstringência;
- dura: apresenta gosto ácido e adstringente;
- riada: bebida que apresenta leve sabor de iodofórmio ou ácido fênico;
- rio: apresenta sabor forte e desagradável de iodofórmio ou ácido fênico; e
- rio zona: bebida de sabor e odor intoleráveis ao bom paladar e ao olfato.

2.3. Processamento do café

No Brasil, em virtude do método de colheita empregado, o café é constituído de uma mistura de frutos verdes, maduros e secos, folhas, ramos, terra, paus e pedras, devendo ser limpo e separado nas diversas frações para que possa ser secado separadamente. Ao conjunto dessas operações, que se iniciam com a chegada do produto no terreiro ou no lavador e vão até o beneficiamento, dá-se o nome de preparo ou pré-processamento do café. O pré-processamento pode ser executado por via seca, isto é; secando integralmente os frutos, dando origem aos cafés cereja em coco ou de terreiro ou por via úmida, que consiste na secagem dos frutos sem casca ou sem casca e mucilagem, originando cafés descascados e despulpados (GUIMARÃES, 1995; SILVA e BERBET, 1999).

O processamento por via úmida é a forma indicada para regiões que apresentam problemas quanto à qualidade, como é o caso da Zona da Mata em Minas Gerais (BÁRTHOLO e GUIMARÃES, 1997). O fluxograma do pré-processamento do café é observado na Figura 1.

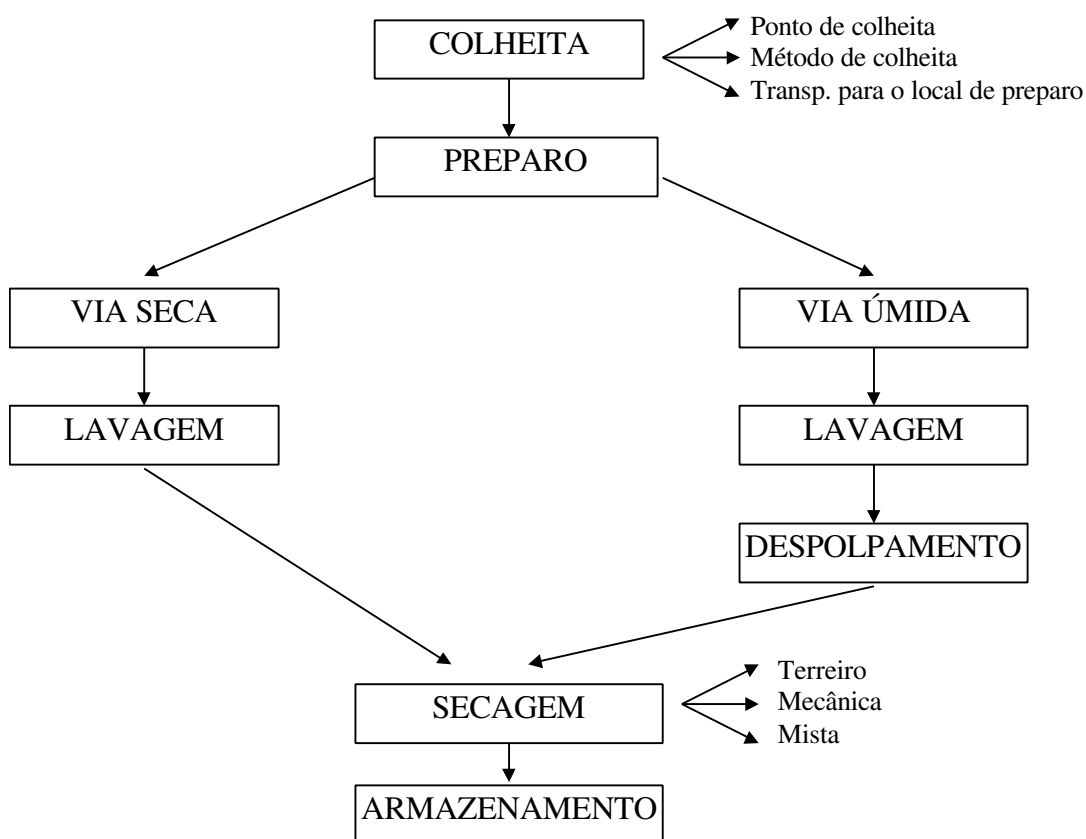


Figura 1 – Fluxograma de pré-processamento do café (SOUZA e CARVALHO, 1997).

2.3.1. Processamento por “via seca”

Depois da colheita o café deve passar por uma limpeza feita em peneiras manuais ou em máquinas com ar e peneiras e em lavadores. Esta é uma das operações mais importantes na fase de preparo do café, pois proporciona a remoção de impurezas e de matérias estranhas, a separação dos frutos “cerejas”, “verdes” e frutos “bóias” (secos) e a obtenção de um teor inicial de água mais uniforme durante a secagem.

A lavagem ou separação é uma operação importante, tanto para o preparo por via seca quanto por via úmida. Além de manter o potencial de qualidade do café recém-colhido, a lavagem ou separação aumenta a vida útil dos secadores e máquinas de beneficiamento pela diminuição do processo de abrasão nos mesmos (CHALFOUN e CARVALHO, 1997).

Os lavadores utilizados na lavagem e na separação do café, segundo relatam SILVA e BERBERT (1999), são de alvenaria e metal, conhecidos como lavador “maravilha”, e os industrializados como lavadores mecânicos.

O lavador “maravilha” consiste em um tanque de alvenaria e uma calha metálica, com saída ramificada e provida de um fundo falso onde cairá o material denso (cereja, verdoengos e impurezas pesadas). Este lavador possui um sistema de turbilhamento (injetor de água sob pressão controlada) que separa os cafés pesados das pedras, se as mesmas ainda existirem, retornando-os à superfície pela calha de cerejas. Já os materiais menos densos, constituídos por frutos passa, seco e danificado e que não afundam recebem a denominação de “bóia”.

Uma das maiores desvantagens do lavador “maravilha” é o consumo exagerado de água, entre cinco e dez litros para cada litro de café lavado, enquanto seu rendimento varia de acordo com o tamanho da calha e com a disponibilidade de água, chegando a atingir até 10.000 litros de café por hora.

Havendo escassez de água, pode-se optar por lavadores mecânicos, que consomem em média um litro de água para cada 12 e 20 litros de café.

Depois da separação, os cafés bóia e cereja são secos separadamente por apresentarem umidades diferentes. Esta operação pode ser feita em terreiros ou, se realizada parcialmente, a secagem poderá ser completada em secadores mecânicos para obtenção de um produto final uniforme e de melhor qualidade (BÁRTHOLO et al., 1989).

2.3.2. Preparo por “via úmida”

O pré-processamento por via úmida dá origem aos cafés cerejas descascados, desmucilados e despulpados. Neste processo, a fração de frutos cerejas e verdes, separados do café bóia pelo lavador, entra no despulpador ou descascador mecânico onde é realizada a separação dos frutos verdes (que irão secar enleirados em terreiro) e a separação da polpa (casca e parte da mucilagem aderida a ela) presente nos grãos cerejas, separando os grãos constituídos pelo endosperma, pergaminho e uma quantidade remanescente de mucilagem, o que dará origem aos cafés descascados que apresentam como vantagem, quando bem preparados, um café de bebida fina, encorpada e com sabor natural (SERRANO, 1995; MATIELLO, 1999).

Para a obtenção do café do tipo cereja despulpado e desmucilado, o restante da mucilagem aderida ao pergaminho é retirado mecanicamente em desmucilador ou em tanque de fermentação. Segundo Serrano, citado por OCTAVIANI (2000), a desmucilagem mecânica consiste na retirada da mucilagem remanescente aderida à parede externa do pergaminho, com a finalidade de facilitar e baratear o processo de secagem uma vez que, devido a sua natureza coloidal, esta retém tenazmente a água, dificultando e encarecendo a secagem. A retirada da mucilagem é feita pelo atrito e conseqüente abrasão entre os grãos que, em fluxo ascendente e em presença de água, passam por uma árvore metálica promovendo seu desprendimento.

O despulpamento é muito utilizado por produtores da América Central, México, Colômbia, Quênia e África e, quando bem preparado, o café apresentará bebida suave, mole ou estritamente mole, independentemente da região produtora (BÁRTHOLO e GUIMARÃES, 1997).

Segundo CHALFOUN e CARVALHO (1997), outras vantagens deste método são a diminuição da área do terreiro (redução de 60% do volume) e a redução no tempo de secagem, não só por ser um café uniforme, mas por apresentar teor de água mais baixo (em torno de 50%).

Estudando a caracterização de cafés despulpados na Zona da Mata, em Minas Gerais, MATIELLO et al. (1989) concluíram que essa prática, quando seguida de cuidados adicionais durante a secagem, promove a melhoria da qualidade e o aumento da rentabilidade para os cafeicultores.

CARVALHO et al. (1997) afirmaram que o despulpamento em regiões tradicionalmente produtoras de cafés de bebida rio, além de aumentar a rapidez e melhorar os cuidados durante o processamento, melhora a qualidade da bebida devido a não utilização de cafés infectados do chão ou cafés muito maduros, ainda moles ou secos na árvore, cuja senescência pode propiciar a infecção microbiana.

A explicação para se obter melhor qualidade de bebida do café quando se processa o café cereja está no fato de ser o estágio cereja a fase correspondente ao ponto ideal de maturação dos frutos, na qual a casca, a polpa e a semente apresentam composição química adequada, proporcionando ao fruto o máximo de qualidade (CARVALHO e CHALFOUN, 1985).

TAGLILEGNA e FAVARIN (1998), avaliando o custo de vários métodos de preparo, secagem e beneficiamento de café, concluíram que, até a etapa de secagem, os cafés tipo cereja descascado, verde natural e bóia natural apresentaram menor custo quando comparados aos demais métodos devido ao menor volume ocupado no secador por unidade de saca de café beneficiado.

2.4. Secagem de café

A crise energética evidencia a necessidade de melhorar a eficiência dos processos de produção e secagem de alimentos. A utilização de processos obsoletos ou não apropriados a determinadas condições operacionais, especificamente relacionados à secagem de grãos, pode prejudicar sensivelmente a qualidade final do produto, além de aumentar o custo de produção.

O processo de secagem pode ser classificado em dois sistemas: secagem natural e secagem artificial. A secagem natural é caracterizada pela secagem do produto no campo sem a interferência do homem e a secagem artificial caracteriza-se pela utilização de processos manuais ou mecânicos, com o uso de ventilação natural ou forçada. Como exemplo de secagem artificial com ventilação natural tem-se a secagem em terreiros, em secadores solares rotativos, e outros. Já a secagem com ventilação forçada é classificada,

segundo DALPASQUALE (1983), de acordo com o aquecimento ou não do ar de secagem e em:

- secagem com ar natural não-aquecido;
- secagem a baixa temperatura, na qual o ar é aquecido até 10 °C acima da temperatura ambiente;
- secagem a alta temperatura, na qual o ar é aquecido mais de 10°C acima da temperatura ambiente;
- secagem com sistema combinado em que se utilizam dois métodos, ou seja, alta e baixa temperatura; e
- seca-aeração.

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

Dentre as operações de preparo de café, a secagem assume importância maior, uma vez que pode influenciar diretamente na qualidade da bebida e no aspecto final do produto (TEIXEIRA e SANTINATO 1975).

A secagem de café é comparativamente mais difícil de ser executada do que a secagem de outros produtos, em virtude do alto teor de umidade no momento da colheita, geralmente entre 60 e 70%, além de outros fatores já relacionados.

Segundo QUILAQUEO (1979), qualquer que seja o método de secagem, devem ser ressaltados os seguintes pontos para se obter êxito no processo de pós-colheita do café:

- evitar fermentação antes e durante a secagem;
- evitar temperatura excessivamente elevada durante a secagem. O café tolera a temperatura do ar de secagem próximo a 40°C por um ou dois dias; 50°C por poucas horas e 60°C por menos de uma hora sem se danificar;
- secar os grãos no menor tempo possível, até 18% b.u.; e
- procurar obter um produto de coloração uniforme.

No Brasil, segundo os aspectos tecnológicos envolvidos, são utilizados basicamente três métodos para secagem de café (SILVA e BERBERT, 1999): secagem artificial em terreiro, secadores mecânicos e secagem combinada.

A escolha de um método de secagem depende de uma série de fatores, tais como (VILELA, 1997):

- nível tecnológico do agricultor;
- oferta de mão-de-obra;
- volume de produção;
- área disponível para implantação do sistema de secagem;
- clima da região;
- energia requerida no processo; e
- disponibilidade de combustíveis, entre outros.

2.4.1. Secagem artificial em terreiro

A produção de café de boa qualidade depende em grande parte dos cuidados na pós-colheita, com destaque para a operação de secagem, que influencia diretamente a qualidade da bebida e o aspecto final do produto. Trata-se de uma operação dispendiosa causada pela instabilidade climática e pelo longo tempo necessário, tendo em vista que a grande maioria dos cafeicultores utilizam o “terreiro” como única etapa de secagem e o resultado final do produto poderá não ser de boa qualidade. Este sistema de secagem artificial difere da secagem natural simplesmente pelo fato de o produto ser retirado da planta e depositado em locais próprios para esse tipo de secagem, denominados terreiros.

No Brasil a colheita do café é geralmente realizada pelo método da derrça manual em que todos os frutos são retirados da planta de uma só vez, o que resulta em um produto heterogêneo em relação à maturação e ao teor de umidade. No entanto, a homogeneização do teor de umidade dos grãos pode ser conseguida com uma secagem lenta ou parcelada (RIGITANO et al., 1963).

A secagem de café, utilizando energia solar em terreiros, tem sido usada há anos e continuará sendo amplamente utilizada no país, não por ser a mais adequada ou econômica, mas por ser a técnica empírica mais conhecida até

hoje e por exigir pouco conhecimento técnico. Em levantamentos realizados pela FAEMG (1996), no Estado de Minas Gerais, menos de 17% dos cafeicultores possuem secadores em suas propriedades.

Segundo CARVALHO et al. (1997), a qualidade da bebida do café é determinada por vários fatores, entre eles o preparo e a conservação dos grãos, nos quais a ação da umidade e a temperatura de secagem intervêm propiciando diferentes atividades microbianas e fermentações indesejáveis.

No processo de secagem em terreiro, o café é seco pela ação dos raios solares. É aconselhável, durante o processo, trabalhar com lotes homogêneos, considerando-se tanto a época de colheita quanto o estágio de maturação ou o teor de umidade, para a obtenção de um produto final uniforme e de boa qualidade (SILVA et al., 2000a).

No Brasil o café é colhido durante os meses secos do inverno, principalmente entre maio e agosto. As condições climáticas da maioria das regiões produtoras possibilitam, a secagem em terreiros, sem que isso afete a qualidade do café, principalmente porque a umidade relativa do ar é baixa, havendo boa radiação solar e pouca ocorrência de chuvas. Entretanto, em regiões de clima úmido o café secado naturalmente corre o risco de contaminação microbiológica por causa da alta umidade inicial (60 a 70% b.u.) e da secagem lenta.

Geralmente, o café que vem da lavoura é lavado e esparramado em terreiros de cimento, asfalto, tijolo ou, ainda, chão batido para a secagem dos grãos. Isto se deve, principalmente, a não preocupação com as características qualitativas do produto depois da secagem bem como ao baixo nível técnico e ao baixo poder aquisitivo dos produtores (PINTO FILHO, 1993).

LACERDA FILHO (1986) concluiu que o terreiro com piso de terra apresenta menor rendimento de secagem do que com piso de outros materiais. O mesmo autor avaliou terreiros com diferentes pisos para as condições de Viçosa e concluiu que o emprego de diferentes materiais de construção pode exercer influência sobre a qualidade de bebida.

Santinato, citado por LACERDA FILHO (1986), teve conclusões diferentes; em estudos feitos sobre o uso de diferentes tipos de materiais de construção de piso não foi verificada alteração na qualidade da bebida do produto.

O tempo médio para secagem completa em terreiro é de 15 dias para as condições do Sul de Minas, Alto Paranaíba e Triângulo Mineiro e de 20 a 30 dias para a Zona da Mata de Minas Gerais (BÁRTHOLO e GUIMARÃES, 1997).

A secagem em terreiro, além de requerer tempo relativamente longo para a realização do processo, apresenta outras desvantagens, como a utilização de grandes áreas nobres para a construção dos terreiros, excessiva mão-de-obra e, muitas vezes, exposição do produto a condições climáticas adversas, favorecendo o desenvolvimento de fungos e o processo de fermentação, que depreciam a qualidade (CAMPOS, 1998).

Segundo DORFMAN (1980), o processo de fermentação ocorre principalmente no café amontoado, que é aquecido em razão de sua própria respiração e do elevado teor de umidade. O calor gerado não é dissipado, pois não existe fluxo de ar entre os grãos, estando estes isolados termicamente no meio da camada.

Bitancourt, citado por LARCERDA FILHO (1986), estudou os efeitos da fermentação e da podridão sobre a qualidade do café e concluiu que a exposição deste ao ambiente que permite uma secagem rápida evita a podridão e a fermentação, por não haver tempo para o desenvolvimento de microrganismo. O café exposto em terreiro por muitos dias sem secar tende a apodrecer por causa da alta umidade do ar, da falta de insolação e de arejamento e, principalmente, pelos microrganismos que podem ter sido inoculados na polpa pela mosca das frutas.

SMITH (1985) afirmou que quando se faz a secagem em terreiros, o café deve ser esparramado em camadas finas (três a cinco centímetros de espessura) e revolvido freqüentemente nos dois sentidos, observando sempre a posição do sol, principalmente no início da secagem para uniformizar a exposição dos grãos aos raios solares. Segundo o mesmo autor, à tarde, o café deve ser enleirado no sentido das águas, assim permanecendo durante toda a noite. Na medida em que for secado, o café poderá ser esparramado em camadas mais espessas, sendo amontoado e coberto à noite e nos dias chuvosos. Nesta fase, chamada meia seca, a operação visa a proteger o café contra a condensação de umidade e chuvas, mantendo algum calor entre os frutos, acelerando a secagem e igualando a umidade. Neste processo, o café

pode levar cerca de três semanas ou mais para reduzir sua umidade até 12% b.u..

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

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

Uma prática recomendada é secar o café em terreiros ou em pré-secadores até a fase de meia-seca (35 a 40% b.u.), sendo a secagem continuada em secador mecânico até o ponto de armazenamento (12% b.u.) ou, ainda, até que a umidade caia para 22% b.u., para que possa ser submetido a uma secagem complementar em silos ventilados durante o processo de armazenamento e atingir a umidade de comercialização (SILVA et al., 2000c).

CHALFOUN e CARVALHO (1997) estabeleceram que o período de pré-secagem em terreiro, para café descascado, é de dois a três dias. A não realização desta etapa implica na formação de aglomerados de grãos pela presença de mucilagem ao longo da secagem mecânica que dificultam a homogeneização do produto.

O período de pré-secagem em terreiro para café da roça pode variar de três a sete dias, conforme recomendações de MENDES et al. (1995) e MATIELLO (1991).

VASCONCELOS et al. (1992), estudando o efeito do processo de secagem na qualidade fisiológica da semente de café (*Coffea arabica* L.), utilizaram a secagem com ventilação natural, ao sol e à sombra, e a secagem com ventilação forçada em secadores de coluna com temperaturas de 35, 40 e 45°C até os grãos atingirem teor de umidade de 15, 25 e 35% b.u., não encontrando efeito significativo do processo de secagem sob a qualidade fisiológica da semente para essas condições.

PIMENTA e VILELLA (2001) estudaram a qualidade do café lavado e submetido a diferentes tempos de amontoa no terreiro e concluíram que em até

três dias amontoado no terreiro o café não perdeu a qualidade, mas o mesmo não ocorreu quando utilizaram mais de três dias, o que torna claro que a fermentação excessiva é muito prejudicial à qualidade do produto; devendo-se, portanto, ter cuidado com o tempo de espera no terreiro e com a espessura da camada de secagem. Estes autores também verificaram que os fungos do gênero *Aspergillus sp.* aumentaram de forma significativa com a elevação no tempo de fermentação, fator que se faz preocupante visto ser este fungo característico de armazenamento e também por ser um fungo relacionado com a produção de aflatoxinas, que apresentam propriedades carcinogênicas.

OCTAVIANI et al. (2001) estudaram os processos de secagem natural e artificial na qualidade fisiológica de sementes de sete cultivares de café (*Coffea arabica* L.) e concluíram que a secagem em terreiro ao sol proporcionou os melhores percentuais de germinação dos cultivares, com exceção do cv. Icatú 2944.

GITIMU (1995) afirma que a secagem do café ao sol é bastante recomendada, pois exerce um efeito positivo na qualidade dos grãos, mas afirma também que alguns cuidados especiais devem ser tomados na secagem de acordo com os teores de água:

- a) de 44 a 33 % b.u., para evitar rachaduras no pergaminho, a secagem deve ocorrer de forma lenta, por isso deve-se cobrir o café durante as horas mais quentes do dia;
- b) de 32 a 22 % b.u. a cor final do grão é formada, portanto é recomendado que o café fique exposto à luz solar por um período não menor que dois dias para melhorar a qualidade da cor. A secagem mecânica não deve ser usada nesse estágio; e
- c) de 21 a 12% b.u. o café pode ser secado mais rapidamente sem prejuízo na qualidade, inclusive com a utilização de secadores.

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

2.4.2. Secagem em secadores mecânicos

2.4.2.1. Secagem a alta temperatura

A secagem mecânica consiste em submeter o produto a ação de uma corrente de ar que atravessa a massa de grãos. A secagem dos grãos ou sementes em que se usa ar aquecido mecanicamente é uma operação cara, entretanto, apresenta vantagens com relação à secagem natural pois pode ser processada independentemente das condições de clima; permite programar as operações com antecedência; e, como o processo é mais rápido que o realizado ao sol, o intervalo de tempo entre a colheita e a operação de secagem, é reduzido, minimizando a possibilidade de desenvolvimento de fungos.

Este processo de secagem baseia-se na propriedade pela qual aumentando-se a temperatura do ar úmido a sua umidade relativa diminui e, conseqüentemente, sua capacidade de absorver umidade aumenta. Geralmente o ar é forçado a circular através do secador por meio de um ventilador. Depois de ter permanecido em contato com o produto, o ar sai do secador com uma temperatura menor e uma umidade relativa mais elevada (Tosello citado por FREIRE, 1998).

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

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

SILVA et al. (1992) afirmaram que, em grandes propriedades, a secagem artificial com temperatura elevada é uma opção que tem dado bons resultados. O uso desses secadores, entretanto, tem estado restrito às regiões de maior desenvolvimento agrícola, uma vez que o investimento inicial com esses equipamentos é impraticável para pequenos e médios produtores rurais.

Os secadores de leito fixo, os secadores de coluna e os secadores de fluxos cruzados são os modelos que se adaptaram melhor às condições brasileiras.

Segundo os mesmos autores, os parâmetros que afetam a taxa de secagem e o desempenho de secadores são: a temperatura e a umidade relativa do ar ambiente, a temperatura e a vazão do ar de secagem, as propriedades físicas do produto, os teores de umidade inicial e final do produto, o tipo e a fonte de energia, a velocidade dos grãos no secador, os sistemas de carga e o tipo de ventilador.

O custo da energia utilizada na secagem depende da temperatura de secagem, do fluxo de ar, do tempo de secagem e do preço do combustível. Como o café é um dos produtos agrícolas que requer maior tempo de secagem em razão de seu elevado teor de água, o consumo de energia por unidade de produto seco também é maior (CASTRO, 1991).

Segundo DOUGLAS et al. (1992), o controle da umidade do grão durante a secagem é importante, pois é um fator que está diretamente relacionado com a viabilidade econômica do sistema. Se a umidade do grão não estiver dentro das especificações, ele não poderá ser bem armazenado e não apresentará as propriedades esperadas.

Os autores acima citados afirmam que para a obtenção de café de boa qualidade é necessário estabelecer um controle da temperatura da massa, principalmente quando o café apresentar teor de água inferior a 33 % b.u., levando-se em consideração que a temperatura da massa de grãos aumenta com a redução de umidade, podendo se igualar à temperatura do ar de secagem. Essa tendência é causada pela dificuldade de migração da umidade das camadas mais internas para a superfície dos grãos.

Ferraz e Veiga, citados por OCTAVIANI (2000), afirmaram que seis fatores importantes afetam a qualidade da bebida do café, são eles: grau de maturação, variedade, tempo decorrido entre a colheita e o início da secagem, influência do primeiro tratamento térmico, temperatura e velocidade de secagem.

PRETE et al. (1995) avaliaram o efeito da temperatura de secagem em frutos de café colhidos nos estádios de maturação cereja e verde, em estufas com circulação forçada de ar, e observaram que a secagem dos frutos colhidos no estádio cereja, independentemente da temperatura de secagem, resultou em grãos normais, com pequeno número de defeitos. Os autores observaram

também alteração na qualidade da bebida dos grãos submetidos à secagem artificial em estufa de circulação forçada de ar a 60°C.

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

2.4.2.2. Secador de leito fixo ou camada fixa

No secador de leito fixo, a secagem é feita em lotes de 0,4 m de espessura. O material é colocado na câmara de secagem onde o ar atravessa a massa de café até que os grãos, colocados sobre uma superfície de chapa perfurada, atinjam a umidade desejada. Para melhorar a uniformidade da secagem, o café deve ser revolvido a cada três horas. LACERDA FILHO (1986), trabalhando com secagem de café em secador de leito fixo e utilizando temperatura do ar de secagem igual a 55 °C, concluiu que não houve comprometimento da qualidade da bebida, sendo esta superior a do produto secado em terreiro com qualquer tipo de piso.

CAMPOS (1998) desenvolveu e analisou um protótipo de secador de leito fixo composto de quatro câmaras com sistema de revolvimento mecânico, para secagem de café despulpado com teores de umidade inicial igual a 43,1 % b.u. e final de 11,7±1,1 %, 13,0±3,6 %, 14,9±8,4 % e 11,4±3,1 % b.u. para as câmaras de 1 a 4 respectivamente, obtendo o consumo específico de energia igual a 12.752 kJ por kg de água evaporada, excluindo-se a energia utilizada em forma de eletricidade, e 16.784 kJ por kg de água evaporada quando se leva em conta a energia utilizada com eletricidade para a temperatura do ar de secagem de 43 °C.

DEGRANDI (1999), ao avaliar a uniformidade da temperatura na massa de grãos e a uniformidade do teor de água dos grãos de café em um secador de leito fixo com revolvimento mecânico, utilizando temperatura do ar de secagem igual a 40 °C, concluiu que a operação de revolvimento mostrou-se eficaz, reduzindo as diferenças tanto de umidade quanto de temperatura e que o carvão vegetal, utilizado como combustível para aquecimento do ar de

secagem, e os demais procedimentos utilizados nos testes não influenciaram a qualidade do produto quanto ao “tipo” e à “bebida”, em comparação com a testemunha.

2.4.3. Secagem em baixa temperatura utilizando ar natural

Secagem com ar natural ou em baixa temperatura compreende os sistemas que utilizam ar em condições ambiente. Quando ocorre apenas o incremento de temperatura, causado pelo atrito entre as moléculas de ar e o rotor do ventilador, o sistema é conhecido como secagem com ar natural. Quando, além deste acréscimo de temperatura, houver incremento de até 10 °C na temperatura do ar por meio da queima de combustível ou pelo uso de energia solar e de eletricidade, o sistema é conhecido como secagem a baixa temperatura. Entretanto, a secagem a baixas temperaturas em camadas profundas (altura da camada superior a um metro) requer longo tempo operacional, o que possibilita a deterioração das camadas superiores do produto, caso o sistema não seja criteriosamente dimensionado (SILVA e BERBERT, 1999).

A secagem com ar natural pode ser empregada para pequenas ou grandes produções e tem como pontos limitantes as condições ambiente e a velocidade de colheita do produto (DALPASQUALE, 1984). Essa opção de secagem é válida quando se dispõe de tempo suficiente e quando se utilizam vazões apropriadas de ar. A quantidade de energia gasta pelos ventiladores é sempre significativamente menor que a energia térmica utilizada na evaporação da água dos produtos.

Este método de secagem apresenta algumas vantagens em relação a secagem a altas temperaturas devido a fatores como: menor necessidade de equipamentos, menos trabalho, menor gerenciamento requerido durante a safra e, conseqüentemente, melhor qualidade final do grão.

O processo de secagem a baixa temperatura é normalmente realizado em silo com fundo perfurado, no qual o produto é secado e armazenado ao mesmo tempo. O fluxo de ar mínimo recomendado e a profundidade máxima da camada de grãos no silo dependem da umidade inicial do produto e das condições ambiente (Bakker-Arkema et al., 1978).

A secagem artificial de grãos com ar natural é um processo de secagem lento, havendo a possibilidade de desenvolvimento de fungos antes de o produto atingir a umidade final desejada. Entretanto, quando bem conduzido, este sistema de secagem permite a manutenção da qualidade do produto devido ao pequeno incremento na temperatura do ar (DALPASQUALE, 1983).

Os fatores mais importantes a serem observados na secagem com ar natural são as condições psicrométricas do ar ambiente. O Brasil, na maior parte de seu território, apresenta um clima tipicamente tropical. Os elevados valores de umidade relativa média do ar, característicos neste tipo de clima, dificultam grandemente a utilização de secagem de grãos com ar natural em razão de seu baixo potencial de secagem. Entretanto, esse problema pode ser contornado por meio de estudos visando a otimização da vazão específica de ar necessário e do melhor intervalo de tempo de trabalho do ventilador durante o dia para diferentes produtos e localidades.

Para a utilização da secagem com ar natural, a umidade inicial do produto não deve ser muito elevada, sendo recomendada uma faixa entre 18 e 20% b.u.. Caso não se consiga colher o produto com umidade adequada, é preciso que se faça uma secagem parcial rápida para, daí então, utilizar a secagem com ar natural. A configuração entre os dois métodos de secagem é conhecida como secagem em combinação (DALPASQUALE, 1983).

Atualmente, no Brasil, o sistema de secagem de grãos em baixa temperatura tem sido utilizado, em alguns casos, para secagem de sementes. A aplicação deste sistema nas fazendas, para secagem de grãos industriais, é ainda relativamente desprezível se comparada aos processos tradicionais de secagem natural no campo e secagem em terreiros e em secadores de altas temperaturas (SILVA, 1993).

Sob condições climáticas semelhantes às de Viçosa, é técnica e economicamente viável secar café cereja descascado ou despulpado com umidade inicial de até 25 % b.u.. A maior vantagem da secagem com ar natural ou em baixa temperatura é que, além da economia substancial de energia e do aumento no rendimento dos secadores, o produto final apresenta coloração e umidade bastante uniformes, propiciando boa torração (SILVA et al., 2000c).

2.4.4. Secagem em sistemas combinados

Para aumentar a eficiência dos processos de secagem, pode-se promover a combinação entre sistemas, incorporando a secagem em silos com ar ambiente aos sistemas a altas temperaturas. Esse método envolve a secagem parcial em secadores convencionais de altas temperaturas com posterior transferência do grão para um processo lento de retirada de umidade. O resultado é a melhora na qualidade do produto, o aumento da capacidade do secador e a redução do consumo de combustível. O sistema a altas temperaturas é utilizado para reduzir a umidade do produto a uma umidade apropriada para secagem em silo com o uso de pequeno suplemento de energia no ar de secagem (Mckenzie, citado por FREIRE,1998).

Segundo GUIMARÃES (1995), na secagem combinada, o secador é utilizado a alta temperatura para secagem do produto na faixa de umidade na qual ele é mais eficiente. A redução do teor de água inicial diminui substancialmente o consumo de energia e aumenta a segurança do processo de secagem com baixa temperatura.

FREIRE (1998) projetou, construiu e avaliou um sistema de secagem combinada para café despulpado, realizando três testes de secagem: dois com a utilização dos sistemas combinados e um com o sistema a alta temperatura; também quantificou a economia de energia proporcionada no processo combinado de secagem e avaliou a qualidade final do produto obtido. O autor concluiu que a secagem com sistemas combinados para café é um método viável quanto ao consumo de energia e à qualidade do produto.

GUIMARÃES (1995) realizou seis testes de secagem combinada para café, cinco com café cereja e um com café descascado, e concluiu que a secagem de café cereja com ar ambiente deve ser iniciada quando a umidade do produto estiver em torno de 20 % b.u.. Para o café descascado, a secagem com ar ambiente pode ser iniciada com umidade bem superior ao indicado para o café cereja, pois com a remoção da casca, rica em açúcares e água, diminuiu-se o risco de desenvolvimento de fungos.

A utilização de secadores que possuem equipamentos tradicionais de transporte de grãos e que necessitam de certa fluidez do produto não é recomendada para o café quando este apresenta umidade acima da 40 % b.u.. Portanto, no sistema de secagem combinada de café, anterior à etapa de

secagem a alta temperatura, deve-se executar uma pré-secagem em terreiros, em secadores de leito fixo ou rotativos (LACERDA FILHO, 1986).

A secagem combinada pode ser realizada com um ou dois silos, o que resulta em menor custo de instalação. Entretanto, SILVA e BERBERT (1999) sugeriram aos produtores de café que adotassem um sistema composto por sete silos, pois neste sistema, os silos aerados (metálicos ou de alvenaria) seriam carregados em camadas (Figura 2), isto é; seriam dimensionados para receber semanalmente uma camada de café de aproximadamente 0,40 m, colocada uma sobre a outra até completar a colheita com um teor de água de ± 24 % b.u., dependendo das condições climáticas, enquanto no sistema de um ou dois silos necessitaria de um único lote para enche-lo. No término da colheita quando todos os silos estiverem cheios o café estará seco, até a umidade de equilíbrio. Recomendaram que a tulha, ou o silo de número sete, permaneça vazia para solucionar eventuais problemas.

O café, antes de ser levado aos silos, deve passar por uma pré-secagem até que sua umidade atinja valores próximos a 25 % b.u. (dependendo das condições climáticas da região, pode-se utilizar valores de umidade mais elevados), sendo, então, transferido para os silos para a secagem complementar com ar natural ou levemente aquecido. Neste método, o operador do sistema de secagem combinada deve estar familiarizado com o processo e estar atento quanto à operação do sistema de ventilação durante a segunda etapa de secagem, verificando diariamente as últimas camadas.

SILVA et al. (2000c), analisando o gerenciamento da secagem de café em sistemas combinados, concluíram que o método de secagem de café pergaminho pelo sistema de sete silos mostrou-se energeticamente mais eficiente em relação a secagem em alta temperatura, mesmo em condições não favoráveis onde o aquecimento de ar é requerido. O uso do sistema possibilitou a obtenção de cafés de boa qualidade, reduziu o custo com a mão-de-obra e aproveitou a estrutura de secagem para armazenagem.

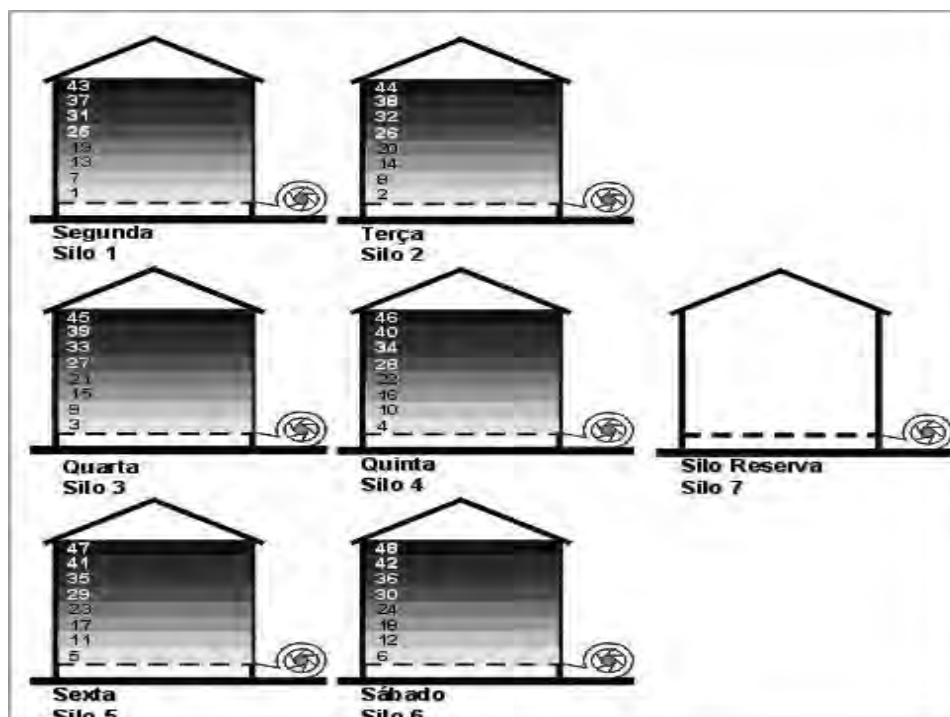


FIGURA 2 - Secagem em silos secadores pelo sistema de sete silos.

Embora a seca-aeração apresente vantagens sobre o sistema de secagem combinada relativas à economia de energia e capacidade, a eliminação do manuseio extra freqüentemente requerido na seca-aeração faz da secagem combinada uma opção factível por produzir menores danos aos grãos (Cloud e Morey citados por FREIRE, 1998).

2.5. Avaliação de secadores

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

Segundo NELLIST e BRUCE (1992), na última década têm ocorrido significativos avanços na prática e na tecnologia de secagem, particularmente no uso de computadores para instrumentação e para simulação do desempenho de secadores. Quando se procura mensurar o desempenho de secadores com uma precisão aceitável, deve-se trabalhar com condições estáveis (ou quase estáveis) de secagem.

NELLIST e BRUCE (1995) afirmaram que o progresso da secagem em um secador com ar aquecido é afetado pelas interações entre diversas variáveis, algumas das quais estão sujeitas a consideráveis variações que são incontroláveis. As condições ambiente, por exemplo, sofrem mudanças continuamente e contribuem, em parte, para as flutuações na temperatura do ar aquecido.

Para a instrumentação são necessários sensores para medir a temperatura ambiente, a umidade relativa, a temperatura do ar no ponto de entrada dos grãos e o consumo de energia (quando se utilizam combustíveis líquidos, gasosos ou eletricidade). As análises do teor de água e da qualidade dos grãos são feitas em laboratório, por meio de amostras coletadas na entrada e na saída do produto. Mas a temperatura deve ser medida por sensores instalados na massa de grãos ou em amostras coletadas em “containers” isolados termicamente (NELLIST e BRUCE,1992). BAKKER-ARKEMA et al. (1978) ressaltam que a avaliação experimental de secadores requer medidas precisas das variáveis relacionadas aos grãos, ao ar e demais parâmetros de secagem e às fontes de energia, incluindo a energia usada nos ventiladores, nos sistemas de movimentação de grãos e no aquecimento de ar.

Quando se necessita de mais informações além das básicas para a avaliação do desempenho de um secador, torna-se necessário a instalação de sensores adicionais para medir fluxo de ar, temperatura e umidade do ar de exaustão, e pressão estática. Pode haver, também, a necessidade de se obter amostras de grãos em pontos da camada de secagem para avaliar a uniformidade da mesma.

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

Para os secadores de fluxo contínuo, devem-se estabilizar as condições de secagem e mantê-las assim durante o período de teste, coletando-se as amostras e efetuando as leituras. Para o caso de secadores de batelada, as leituras devem ser feitas durante um ciclo de secagem e as amostragens devem ser realizadas no carregamento e na descarga do secador. A escolha dos pontos de amostragem, assim como o tratamento correto na divisão das amostras em subamostras para avaliação da qualidade

dos grãos e determinação da umidade, é vital para a precisão dos resultados (NELLIST e BRUCE, 1992).

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

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

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

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

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

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

2.6. O carvão vegetal como combustível

O carvão vegetal é um produto obtido artificialmente em fornos especiais pela carbonização da lenha, com eficiência de conversão de 50-55%. Sua massa específica média é 220 Kg.m^{-3} e seu poder calorífico superior está associado à temperatura de carbonização bem como a outros fatores, estando próximo a $29.300 \text{ KJ Kg}^{-1}$ (SILVA, 1988).

WENZL (1970) já previa o aumento da importância do carvão vegetal em razão das possibilidades de suas aplicações comerciais e propriedades características. O processo de fabricação do carvão vegetal é rudimentar, sendo, em sua maioria, produzido em fornos de alvenaria, sem controle da temperatura de carbonização e sem recuperação dos produtos voláteis que são lançados na atmosfera (VELLA, 1989).

As propriedades mais desejadas no carvão vegetal são: reatividade, resistência mecânica, friabilidade, higroscopicidade e massa específica.

A massa específica do carvão vegetal é uma propriedade muito importante, pois as demais propriedades estão intimamente relacionadas a ela. A massa específica é classificada como: massa específica a granel, relativa aparente e relativa verdadeira. A massa específica a granel (D) é a relação massa/volume de carvão. Normalmente este valor está em torno de 200 a 300 kg. m^{-3} (MENDES et al., 1982).

Alguns fatores que influem nas propriedades do carvão vegetal produzido são a composição química, a umidade e a densidade da madeira, a temperatura e a pressão da carbonização, entre outros. A temperatura é o principal fator que influencia a composição química do carvão em termos de carbono fixo e matérias voláteis.

Os resultados obtidos por Bergstrom e Wesslen, citados por MATOS et al. (1981), para a carbonização de madeiras duras e secas em diferentes temperaturas, são mostrados na Tabela 1, que também apresenta os valores da variação da composição elementar e do rendimento de carvão obtido em relação à madeira seca.

Na Tabela 2 são apresentados os resultados obtidos por MATOS et al. (1981) e ALMEIDA (1983) relacionando o efeito da temperatura sobre as

características químicas do carvão vegetal obtido com a carbonização da madeira de *Eucalyptus grandis*.

Tabela 1 – Composição química elementar e rendimento do carvão vegetal em função das temperaturas de carbonização

Temperatura de carbonização (°C)	Composição elementar			Rendimento gravimétrico (%)
	C (%)	H (%)	O (%)	
200	52,3	6,3	41,4	91,8
300	73,2	4,9	21,9	51,4
400	82,7	3,8	13,5	37,8
500	89,2	3,1	6,7	31,0
600	92,2	2,6	5,2	29,1
700	92,8	2,4	4,8	27,8
800	95,7	1,0	3,3	26,7
900	96,1	0,7	3,2	26,6
1000	96,6	0,5	2,9	26,3
1100	96,4	0,4	3,2	26,1

Fonte; MATOS et al. (1981).

Tabela 2 – Variação das características químicas do carvão de *Eucalyptus grandis* em função da temperatura de carbonização

Temperatura de Carbonização (°C)	Análise química			Rendimento gravimétrico (%)
	carbono fixo (%)	mat. voláteis (%)	cinzas (%)	
300*	68,00	31,00	--	42,00
500*	86,00	13,00	--	33,00
700*	92,00	0,70	--	30,00
300	61,86	36,57	1,57	44,49
375	69,45	28,67	1,88	36,42
450	76,42	21,87	1,71	32,79
525	80,34	17,15	2,50	30,05
600	87,09	11,30	1,44	28,63

Fonte; ALMEIDA (1983). *MATOS et al. (1981)

2.7. Avaliação econômica

Na avaliação da viabilidade técnico-econômica de um investimento, utilizam-se duas análises básicas: a análise do investimento e a análise de custo. A primeira fundamenta-se na teoria de investimentos e a segunda na teoria de custo de produção. Na análise econômica do sistema de pré-processamento de café, é importante empregar os dois procedimentos para obter elementos para uma avaliação detalhada dos aspectos econômicos (REZENDE 1997).

A avaliação econômica de projetos baseia-se em critérios de rentabilidade. Assim, o projeto é economicamente viável quando gera saldos capazes de remunerar o capital investido.

2.7.1. Análise de investimentos

Segundo LEITE et al. (1996), a análise de investimento requer a elaboração do fluxo de caixa do investimento, isto é, a previsão de todas as entradas (capital investido e despesas de operação) e de todas as saídas (receitas do investimento), por período de tempo ao longo de todo o horizonte do projeto (vida útil produtiva).

2.7.2. Avaliação dos custos operacionais de secagem

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

SILVEIRA et al. (2000) afirmaram que vários parâmetros de custos estão envolvidos no processo de secagem, entre eles: energia para movimentar e aquecer o ar de secagem, mão-de-obra, equipamentos, manutenção, depreciação, taxas, seguros, os juros e os custos de quebra técnica ou a redução de qualidade. Na análise, os autores consideraram separadamente os

custos energéticos de aquecimento e de movimentação do ar. Os outros custos foram assumidos e considerados fixos. Eles verificaram também que:

a) O custo do combustível é diretamente proporcional aos seguintes fatores: elevação da temperatura do ar acima da temperatura ambiente, fluxo de ar, tempo de secagem e preço do combustível. A equação 1 foi proposta para estimar os custos de combustível.

$$C_c = \frac{.ma.(C_{pa} + (s.C_{pv})).(T - T_a).ts.P1}{PCI.E1.As.X} \quad (\text{eq.1})$$

em que

C_c = custo do combustível para secagem, R\$.m⁻³ de produto;

ma = vazão mássica de ar, kg.h⁻¹;

C_{pa} = calor específico do ar seco, kJ kg⁻¹.°C⁻¹;

s = razão de mistura, kg de água.kg⁻¹ de ar seco;

C_{pv} = calor específico do vapor de água, kJ kg⁻¹.°C⁻¹;

T = temperatura do ar de secagem, ° C;

T_a = temperatura do ar ambiente, ° C;

ts = tempo de secagem, h;

$P1$ = custo do combustível, R\$.unid⁻¹;

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

$E1$ = eficiência da combustão;

As = área de secagem, m²; e

X = espessura da camada de produto, m.

b) O custo de operação do ventilador pode ser estimado pela equação:

$$C_v = \frac{\text{Pot}.ts.P2}{E2} \quad (\text{eq.2})$$

em que

C_v = custo de operação do ventilador, R\$.m⁻³ de produto;

Pot = potência necessária para forçar o ar através dos grãos, kW.m⁻³ de produto;

$P2$ = custo da eletricidade, R\$.kWh⁻¹;

t_s = tempo de secagem, h; e

E_2 = eficiência global do ventilador e de seu motor, decimal.

c) Os outros custos considerados são os de depreciação dos equipamentos, manutenção, juros, seguros, impostos e mão-de-obra. Os demais custos são considerados fixos e não são afetados pela quantidade de produto seco. O custo fixo pode ser estimado pela equação:

$$C_f = \frac{P_3 + \left[P_5 \cdot \frac{F}{t_{\max}} \right]}{\min \left[\left(\frac{V_s}{t_s} \right); \frac{V_{p\max}}{t_{\max}} \right]} \quad (\text{eq.3})$$

em que

C_f = custos fixos, R\$m⁻³ de produto;

F = custo da depreciação, da manutenção e de juros e taxas, como uma fração do custo inicial do equipamento, decimal;

P_3 = custo da mão-de-obra, R\$.h⁻¹;

P_5 = custo inicial do sistema, R\$;

t_{\max} = tempo máximo de secagem por ano, h;

t_s = tempo de secagem do produto, h;

V_s = volume do secador, m³; e

$V_{p\max}$ = volume máximo de produção por ano, m³.

d) O custo total de secagem é estimado pela soma de todos os custos através da equação:

$$C_{TOT} = C_C + C_V + C_F \quad (\text{eq.4})$$

em que

C_{tot} = custo total de secagem, R\$.m⁻³ de produto;

C_C = custo do combustível para secagem, R\$.m⁻³ de produto;

C_V = custo de operação do ventilador, R\$.m⁻³ de produto; e

C_f = custo fixo, R\$.m⁻³ de produto.

O custo total médio representa, exatamente, a razão do custo total pela quantidade de produto. Este custo pode ser estimado pela equação:

$$CTMe = \frac{CTOT}{q} \quad (\text{eq.5})$$

em que

CTMe = custo total médio, R\$.sc⁻¹;

CTOT = custo total de secagem, R\$.m⁻³ de produto; e

q = quantidade de sacos de café seco e beneficiado por ano em cada unidade.

SILVA et al. (1992) informaram que Chan et al. desenvolveram um modelo para estimar o custo de secagem com base no custo mínimo e nas eficiências térmicas de cinco sistemas. Nessa metodologia, o custo anual de secagem foi estimado pela equação:

$$Ca = \frac{[(C1 + C2 + C3 + C4).QT]}{Cs} + C5 + C6 \quad (\text{eq.6})$$

em que

Ca = custo total de secagem anual, R\$.ano⁻¹;

C1 = custo de combustível para secagem, R\$.h⁻¹;

C2 = custo de eletricidade para secagem, R\$.h⁻¹;

C3 = custo de mão-de-obra, R\$.h⁻¹;

C4 = custo de inadequação do sistema, R\$.h⁻¹;

C5 = custo fixo, R\$.ano⁻¹;

C6 = custo de quebra técnica, R\$.ano⁻¹.

QT = quantidade total a ser secada, m³.ano⁻¹; e

Cs = capacidade de secagem m³.h⁻¹.

Os custos de combustível (C1) e de eletricidade (C2) podem ser estimados pelas equações 7 e 8 respectivamente:

$$C1 = \frac{Ea.P1}{E1.PCI} \quad (\text{eq.7})$$

em que

C1 = custo de combustível para secagem, R\$.h⁻¹;

E_a = energia necessária para aquecer o ar, kJ.h^{-1} ;
 P_1 = custo do combustível, $\text{R$.unid}^{-1}$;
 E_1 = eficiência da combustão; e
 PCI = poder calorífico inferior do combustível, kJ kg^{-1} .

$$C_2 = \frac{PE.P_2}{E_2} \quad (\text{eq.8})$$

em que

C_2 = custo de eletricidade para secagem, $\text{R$.h}^{-1}$;
 PE = potência do equipamento, kW.
 P_2 = custo da eletricidade, $\text{R$.kWh}^{-1}$; e
 E_2 = eficiência global do ventilador e de seu motor, decimal.

O custo de mão-de-obra é calculado em função do tempo de secagem. No entanto, considera-se que esta é utilizada em apenas parte do tempo, devendo ser ajustada seguindo a equação:

$$C_3 = n . P_3 \quad (\text{eq.9})$$

em que

C_3 = custo de mão-de-obra, $\text{R$.h}^{-1}$;
 n = constante de ajuste, decimal

- sistemas com ar aquecido:
- fornalha a gás $n = 0,2$
- fornalha a carvão – UFV $n = 0,4$
- fornalha a lenha $n = 0,8$
- sistemas com ar natural $n = 0,1$; e

 P_3 = custo da mão-de-obra, $\text{R$.h}^{-1}$

O custo de inadequação do sistema é devido à impossibilidade de ajustes para que as operações de campo sejam sincronizadas em um período de tempo adequado para atendimento da capacidade de colheita. Este custo pode ser estimado pela equação:

$$C4 = \frac{F1.P4.QT}{Fp.HR} \quad (\text{eq.10})$$

em que

C4 = custo de inadequação do sistema, R\$.h⁻¹;

F1 = fator de inadequação quando se estuda o milho F1=0,003.dia⁻¹;

P4 = preço do produto, R\$.m⁻³;

Fp = fator de programação:

-programação antecipada = 0,2.ano⁻¹

-programação atrasada = 2,0.ano⁻¹

-programação balanceada = 4,0.ano⁻¹;

QT = quantidade total a ser secada, m³.ano⁻¹; e

HR = número de horas de secagem por dia, h.dia⁻¹.

O custo fixo, que inclui a depreciação, os juros e impostos, pode ser estimado como porcentagem do custo inicial pela equação.

$$C5 = F . P5 \quad (\text{eq.11})$$

em que

C5= custo fixo, R\$.ano⁻¹;

F= fator de depreciação, manutenção, juros e fração decimal do custo inicial; e

P5= preço inicial do sistema, R\$.

O valor de F para secadores contínuos e intermitentes portáteis é de 0,15; para silo-secador em lotes é de 0,13 e para secagem com ar natural e com ar ligeiramente aquecido é de 0,12.

Ao custo de quebra técnica são incorporadas as perdas de matéria seca ocorrida durante a secagem, secagem em excesso ou incompleta e a perda na qualidade. Contudo, em razão da dificuldade em estimar valores, consideraram-se, geralmente, as perdas de matéria seca pela equação:

$$C6 = FQ . P4 . QT \quad (\text{eq.12})$$

em que

C6= custo de quebra técnica, R\$.ano⁻¹;

FQ= fator de quebra técnica (=0,005);

P4= custo do produto, R\$.m⁻³; e

QT= quantidade total a ser secada, m³.ano⁻¹.

Para o café cereja lavado ou descascado, o fator “Quebra Técnica – FQ” foi considerado como 0,005 com uso de pré-secadores e secadores mecânicos. Em terreiro de terra o fator FQ do café foi considerado igual a 0,15 e em terreiro de concreto igual a 0,07 (SILVA et al. 2001).

3. MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado no Setor de Pré-Processamento de Produtos Vegetais do Departamento de Engenharia Agrícola, do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, Minas Gerais.

O produto utilizado foram os cafés (*Coffea arabica* L.) cereja lavado e cereja descascado, da variedade Catuaí, procedente da fazenda Araúna, situada no município de Viçosa, Minas Gerais. A colheita do produto aconteceu de junho a agosto de 2001, pelo sistema de derriza sobre pano, quando o teor de água dos frutos era de aproximadamente 60% b.u.. Durante o recebimento, os frutos de café foram separados em “cerejas” e “bóias” e uma parte dos frutos “cerejas” foi descascada e a outra não.

O café cereja descascado foi esparramado em camadas, no terreiro, durante dois dias, para o escoamento da água, sendo então transportado para o Setor de Pré-Processamento de Produtos Vegetais da UFV, para a realização da secagem.

3.1. Terreiro Híbrido – solar e biomassa

O Terreiro Híbrido ou terreiro secador é um terreiro convencional, preferencialmente concretado, onde se adaptou um sistema de ventilação com ar aquecido por uma fornalha, possibilitando a secagem do café na ausência direta de radiação solar, durante os períodos noturnos, nublados e chuvosos.

Foram projetados e construídos em alvenaria de cimento, areia e tijolos maciços dois Terreiros Híbridos com 10 m de largura e 15 m de comprimento. Para facilitar o escoamento das águas pluviais, cada terreiro foi construído com declividade de 1,5%, tanto do centro para as extremidades quanto no sentido longitudinal. Na parte inferior, foram construídos ralos interligados na base por canaleta de cimento para o escoamento da água pluvial. Com dimensões de 0,20 m por 0,25 m, os ralos foram cobertos com grades de ferro com malha de 3 mm para impedir a passagem dos grãos ou frutos de café.

Na direção do comprimento, os Terreiros Híbridos foram dotados de uma tubulação central denominada duto principal de ventilação e a este duto foram acoplados seis dutos perpendiculares denominados dutos secundários, que foram feitos com tubos de PVC de 0,15 m de diâmetro. As saídas destes ficaram 2,30 m eqüidistantes e as saídas dos dutos das extremidades ficaram 1,15 m distantes da parede do terreiro por onde sai o ar aquecido pela fornalha. Os detalhes de construção podem ser vistos na Figura 3.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



Figura 3 – (a) Vala para construção da tubulação do ar de secagem; (b) Concretagem do piso onde foi feita a caixa para o duto secundário; (c) Detalhe de construção da caixa; (d, e) Posicionamento das tubulações nas caixas; (f) Detalhe de fixação das tubulações nas caixas; (g, h) Conclusão da construção da caixa; (i) Aterramento e compactação da vala para concretagem do terreiro.

Os materiais gastos na construção de um Terreiro Híbrido de concreto de 150 m², com pavimentação feita de concreto 1:4:8, com 8 cm de espessura e arremate com argamassa 1:3, com 2 cm de acabamento são descritos no Quadro 3.

Quadro 3 - Materiais gastos na construção do Terreiro Híbrido de 150 m²

Discriminação	Unid.	Quant. Geral	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)	Participação (%)
Trator de esteira	h	2	35,00	70,00	3,32
Servente	d	33	10,00	330,00	15,67
Pedreiro	d	18	25,00	450,00	20,92
Cimento	sc	61	11,00	671,00	31,20
Areia	m ³	12	11,00	132,00	6,13
Tubo de PVC (150 mm)	ud.	3	40,00	120,00	5,58
Brita	m ³	12	25,00	300,00	13,95
Sarrafo	m	75	0,80	52,00	2,42
Tijolos 20 x 20	ud.	400	0,13	32,50	1,51
TOTAL GERAL				2105,50	100,00

Custo por m² = R\$ 14,06 – dezembro/2000

Houve necessidade também de se adquirir uma fornalha, um ventilador centrífugo, um motor elétrico de 5cv e 15 m de dutos de aeração que custaram aproximadamente R\$ 850,00, R\$ 750,00, R\$ 300,00 e R\$ 800,00,

respectivamente, em dezembro de 2000, para a complementação do sistema de secagem adaptado (Terreiro Híbrido).

Nas saídas dos dutos secundários, no sentido longitudinal, colocaram-se dutos de aeração com formato trapezoidal e com as seguintes dimensões: base maior 0,30 m, base menor 0,10 m e altura de 0,15 m e construídos de chapas metálicas perfuradas nº 20, com 23% de perfurações, sobre os quais foi colocado o café enleirado, observando-se a mesma altura de camada para uma distribuição mais uniforme do ar e para possibilitar uma secagem mais uniforme.

Ao duto principal de cada um dos Terreiros Híbridos, foi acoplado um ventilador centrífugo, acionado por motor elétrico de 5 cv, com rotação de 1780 rpm, que possibilitou um fluxo do ar de secagem de, aproximadamente, $5,8 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ (Figura 4). Nos Terreiros Híbridos, o ventilador succiona o ar aquecido por uma fornalha com aquecimento direto (SILVA et al., 2000a) e força sua passagem através da massa de grãos distribuída em leira, sobre os dutos de aeração.



Figura 4 – Conjunto motor-ventilador.

A temperatura do ar de secagem na entrada do duto principal foi monitorada por um termômetro bimetálico de haste de 0,15 m, previamente calibrado.

Para monitorar a temperatura do ar de secagem durante o processo, foram instalados termopares de cobre constantan no interior do duto de ar, na massa de grãos e na exaustão do ar. No interior dos dutos, os termopares do “tipo T” foram posicionados a 0, 5, 10 e 15 m, ao longo de sua extensão. Na massa de grãos os pontos ficaram posicionados a 0,10 e a 0,20 m de distância

do ponto de saída do ar (duto de aeração), considerando-se a espessura da camada do produto, a 5 e a 10 m, ao longo de sua extensão. No monitoramento do ar de exaustão, os termopares ficaram posicionados sobre a massa de grãos. As temperaturas envolvidas em todas as fases do processo (ar de secagem dentro do duto de aeração, ar de secagem na massa de grãos e a temperatura da massa e a de exaustão) foram monitoradas por meio de termopares “tipo T” (AWG 2-24, PVC-PVC) (cobre-constantan), previamente calibrados, com precisão de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$, conectados a um sistema automático de aquisição de dados e interligado a um microcomputador 486 DLC cujo programa de controle foi o “Labview”. Os dados foram monitorados em intervalos regulares de minuto e armazenados em um microcomputador. Após o monitoramento, fez-se a média de todas as leituras de temperatura, de umidade relativa do ar ambiente e de radiação solar. A leitura da temperatura da massa foi feita em intervalos de três horas.

Junto aos Terreiros Híbridos foram construídos, com as mesmas dimensões, isto é, 10 m de largura por 15 m de comprimento, dois terreiros convencionais com piso de concreto e com as mesmas características dos Terreiros Híbridos, que funcionaram como testemunha.

A secagem foi realizada utilizando-se três fontes energéticas: energia elétrica, energia proveniente da combustão de biomassa (carvão vegetal) e energia solar. Durante a incidência de radiação solar, a partir das 9 horas, quando o café foi espalhado no terreiro, até as 15 horas, quando foi enleirado sobre os dutos de aeração, a secagem foi feita pelo método artificial em terreiros (mesmo processo adotado no terreiro testemunha). Neste período, o café foi revolvido em intervalos regulares de hora com a utilização do rodo raspador-enleirador. As amostras foram retiradas às 9, 12 e 15 horas para o monitoramento do teor de água da massa de café.

Na ausência de radiação solar direta, incidência de chuvas e durante o período noturno, o café foi enleirado sobre os dutos para secagem com ar aquecido e a camada de grãos, cuja espessura é de aproximadamente 0,40 m, foi revolvida manualmente por meio de rodos metálicos, em intervalos regulares de três horas. Este revolvimento teve como finalidade reduzir o gradiente de umidade estabelecido entre a camada inferior e a camada superior das leiras durante a secagem e, conseqüentemente, proporcionar maior uniformidade no teor de água dos grãos durante a secagem (Figura 5).

Durante cada revolvimento, as amostras foram retiradas para acompanhamento do teor de água da massa de café.



Figura 5 - (a) Vista geral do terreiro antes da montagem dos tubos de ventilação; (b) Detalhe da tomada de ar para o duto de ventilação; (c) Entrada de ar do duto; (d) Colocação do duto do sistema de ventilação; (e) e (f) Detalhes da montagem dos dutos de ventilação; (g) e (h) Detalhes da formação da leira; (i) Leira pronta para ser coberta.

Nos períodos chuvosos, as leiras de café foram cobertas por um filme de polietileno removível, fixo lateralmente e flutuante sobre as mesmas pela ação do ar de exaustão (Figura 6).



Figura 6 - (a) Cobertura da leira por causa das chuvas; (b) Sistema de ventilação em funcionamento.

Devido a estes procedimentos, a secagem pode ser realizada durante 24 horas, utilizando-se energia solar em dias ensolarados e energia proveniente da combustão carvão vegetal durante a ausência da radiação solar direta.

Para avaliar o Terreiro Híbrido, foi utilizada a metodologia proposta por (Bakker-Arkema et al., 1978). Foram conduzidos, para cada tipo de preparo do café (cereja e descascado), dois tratamentos de secagem, cujas temperaturas eram de 40 e 60°C, independentemente das condições de incidência ou não de radiação solar. Para cada temperatura foram utilizados intervalos regulares de revolvimentos da massa de grãos, a cada três horas.

Para a determinação do final da secagem, monitorou-se o teor de água utilizando-se o método de Evaporação Direta da Água em Banho de Óleo – EDABO (SABIONE et al., 1984). A secagem foi interrompida quando o teor de água médio final atingiu entre 11 e 12% b.u. No caso da secagem com a utilização do terreiros convencionais (testemunha), quando observou-se a impossibilidade de o teor de água atingir 12% b.u., interrompeu-se o processo considerando-se a umidade de equilíbrio com as condições psicrométricas apresentadas. As medições das condições ambientais foram feitas com instrumentos instalados em um abrigo meteorológico localizado a 30 m dos Terreiros Híbridos, utilizando-se um sistema de aquisição automática de dados.

3.2. Fornalha a carvão vegetal

Utilizou-se uma fornalha com aquecimento direto, a carvão vegetal, em que os gases resultantes da combustão do carvão foram misturados com o ar ambiente e insuflados diretamente na massa de grãos. Este tipo de fornalha, por não requerer chaminé e trocador de calor, apresentou custos inicial e de manutenção mais baixos e maior eficiência que fornalhas semelhantes, do tipo aquecimento indireto.

A fornalha compõe-se de um depósito de carvão com capacidade de aproximadamente 75 kg e de dois compartimentos. O primeiro compartimento é a câmara de combustão na qual se encontra uma célula de queima (grelha) que recebe, por gravidade, o combustível do depósito localizado na parte superior. O segundo constitui uma extensão da câmara de combustão e se destina à condução dos gases até a entrada do ciclone.

Para a construção da fornalha, utilizou-se tijolos comuns, cimento, areia de barranco, terra, melaço de cana-de-açúcar ou açúcar, cantoneira, ferro de construção e chapas metálicas nº 14. Para o assentamento dos tijolos, usou-se uma argamassa especial com a seguinte proporção: 18 volumes de areia + 18 volumes de terra + 2 volumes de melaço ou 3 volumes de açúcar cristal. Um volume de cimento foi adicionado à argamassa de revestimento. Apesar de esta fornalha poder ser construída quase toda em alvenaria, recomenda-se que o depósito para carvão e o revestimento externo sejam construídos em chapa metálica, conforme (SILVA et al., 2000b).

3.2.1. Funcionamento da fornalha

Após o carregamento do depósito de carvão, que fica localizado na parte superior da câmara de combustão, faz-se o escorvamento do carvão na célula de queima com um pedaço de estopa embebida em álcool, ateando-se fogo e esperando entre um e dois minutos para o acionamento do ventilador (Figura 7). É fundamental que a tampa do depósito seja bem vedada, pois caso haja qualquer entrada de ar no mesmo, além de provocar incêndio, poderá danificar a fornalha pela queima do carvão dentro do depósito, aumentando o

consumo de combustível. Fez-se o controle da combustão regulando-se as aberturas de entrada de ar primário, localizadas nas paredes laterais da câmara de combustão (Figura 8). O oxigênio do ar comburente, ao passar pela grelha, reage com o combustível liberando calor para o aquecimento do ar de secagem, que foi insuflado pelo ventilador na massa de grãos. A regulação da temperatura do ar de secagem foi feita por aberturas posicionadas no duto de ligação entre o ciclone e o ventilador.



Figura 7 - (a) Carregamento da fornalha; (b) Posicionamento da célula de queima na câmara de combustão



Figura 8 - Regulagem da entrada de ar primário na câmara de combustão

3.3. Manejo do café no terreiro

No mesmo dia da colheita, depois de lavado e separado o café “cereja” do “bóia”, pelas diferenças entre suas massas específicas, o café cereja foi descascado e utilizado em alguns tratamentos. Em seguida, o café foi espalhado no terreiro do produtor para que fosse completada a massa necessária para os tratamentos. No local do experimento, a secagem em terreiro ocorreu durante o dia, quando o produto foi esparramado em camadas de aproximadamente 4 cm de espessura.

Depois de esparramado, o produto foi revolvido em intervalos regulares de tempo, nunca superior a 60 min, com o auxílio de um rodo raspador-enleirador, como é mostrado na Figura 9.



Figura 9 - Rodo raspador-enleirador para café em terreiro.

Quando se fez o revolvimento do café com a utilização do rodo raspador-enleirador (Figura 10), o operador teve cuidado para que a parte raspada do terreiro ficasse exposta ao sol a fim de que se processasse a sua secagem e o seu aquecimento, diretamente. Ao realizar o revolvimento do café no terreiro (Figura 11), observou-se sempre a posição do sol para impedir o sombreamento em qualquer uma das faces da leira.



Figura 10 – Distribuição do café no terreiro, em sistema de mini-leiras feitas com a utilização do rodo e exposição do piso do terreiro, ao sol, para secagem.



Figura 11 – Manejo correto para o revolvimento do café, em que o operador direciona os movimentos do rodo raspador sobre a própria sombra.

Estes revolvimentos visam a uniformizar a exposição dos grãos aos raios solares e sua movimentação através do ar, para acelerar o processo de secagem. À medida que seca, o café pode ser enleirado em camada mais espessa, sendo amontoado à noite e coberto com lençol plástico ou encerado.

A partir da meia seca, o café completou a secagem em montes onde se estabeleceu o equilíbrio entre a umidade interna e a umidade superficial do fruto. Para que isso ocorresse, revolveu-se o café diariamente, durante 2 a 3 horas de sol, sendo, em seguida, amontoado e coberto.

3.4. Tratamentos experimentais

Foram realizados doze tratamentos de secagem, sendo quatro como testemunhas (uma testemunha para cada dois tratamentos), entre os meses de julho e setembro de 1999. Em quatro tratamentos utilizou-se, para o aquecimento do produto, o sistema combinado denominado Terreiro Híbrido 1: energia solar entre 9 e 15 horas e energia da biomassa entre 18 e 9 horas. Nos outros quatro tratamentos, operou-se o sistema de secagem durante 24 h.dia⁻¹, com queima de carvão. Este sistema foi denominado secagem em Terreiro Híbrido 2. Para a secagem das testemunhas, utilizou-se energia solar entre 9 e 15 horas em terreiro convencional de concreto(Quadro 4).

Quadro 4 – Relação dos tratamentos

TIPO DE CAFÉ	TERREIRO HÍBRIDO 1 TH1		TERREIRO HÍBRIDO 2 TH2		TESTEMUNHA TC
	T40	T60	T40	T60	
CCD	CCDTH1T40	CCDTH1T60	CCDTH2T40	CCDTH2T60	CCDTC _{9,10}
CC	CCRTH1T40	CCTH1T60	CCTH2T40	CCTH2T60	CCTC _{11,12}

CCD – Café cereja descascado, CC – Café cereja, T40 – Temperatura de 40°C e T60 – Temperatura de 60°C, TC – Terreiro convencional

Descrição dos tratamentos:

CCDTH2T60 (T₁) – Secagem de café cereja descascado no Terreiro Híbrido 2, com a temperatura do ar de secagem de 60 °C;

CCDTH1T60 (T₂) – Secagem de café cereja descascado no Terreiro Híbrido 1, com a temperatura do ar de secagem de 60 °C;

CCTH2T60 (T₃) – Secagem de café cereja no Terreiro Híbrido 2, com a temperatura do ar de secagem de 60 °C;

CCTH1T60 (T₄) – Secagem de café cereja no Terreiro Híbrido 1, com a temperatura do ar de secagem de 60 °C;

CCDTH2T40 (T₅) – Secagem de café cereja descascado no Terreiro Híbrido 2, com a temperatura do ar de secagem de 40 °C;

CCDTH1T40 (T₆) – Secagem de café cereja descascado no Terreiro Híbrido 1, com a temperatura do ar de secagem de 40 °C;

CCTH2T40 (T₇) – Secagem de café cereja no Terreiro Híbrido 2, com a temperatura do ar de secagem de 40 °C;

CCTH1T40 (T₈) – Secagem de café cereja no Terreiro Híbrido 1, com a temperatura do ar de secagem de 40 °C;

CCDTC₉ (T₉) – Secagem de café cereja descascado no terreiro de piso de concreto, para testemunha dos tratamentos 1 e 5;

CCDTC₁₀ (T₁₀) – Secagem de café cereja descascado no terreiro de piso de concreto, para testemunha dos tratamentos 2 e 6;

CCTC₁₁ (T₁₁) – Secagem de café cereja no terreiro de piso de concreto, para testemunha dos tratamentos 3 e 7; e

CCDTC₁₂ (T₁₂) – Secagem de café cereja no terreiro de piso de concreto, para testemunha dos tratamentos 4 e 8;

3.5. Avaliação do desempenho do secador

Para a avaliação do secador, utilizou-se a metodologia proposta por Bakker-Arkema et al. (1978), adaptando-o ao processo estudado, conforme descrito no item 2.5.

3.5.1. Parâmetros relativos aos grãos

3.5.1.1. Teor de água dos grãos

O teor de água dos grãos foi medido pelo método oficial de estufa com circulação natural de ar a 105±3 °C durante 24 horas, com três repetições, sendo utilizadas amostras de aproximadamente 30 g (BRASIL, 1992).

As amostras, para a obtenção dos teores de água inicial, durante o processo de secagem e final, foram retiradas em vários pontos do terreiro ou da leira a partir do momento em que o café foi espalhado ou enleirado sobre o duto de aeração, nos intervalos pré-determinados, logo após o revolvimento.

3.5.1.2. Determinação da massa do produto

A massa inicial do café foi medida em uma balança rodoviária, com capacidade para 20.000 kg e precisão de 2 kg.

3.5.1.3. Temperaturas da massa do produto

As temperaturas da massa de grãos foram medidas nas distâncias de 5 e 10 m, a uma altura de 0,10 e 0,20 m sobre o duto de ar, considerando-se a espessura da camada de grãos na formação de leira, conforme a Figura 12. As leituras foram realizadas em intervalos de três horas com o sistema de ventilação desligado. Este procedimento teve como objetivo evitar que a temperatura do ar de secagem interferisse na temperatura dos grãos no momento da leitura, conforme THOMPSON et al. (1968) que admitiram que a temperatura dos grãos e do ar intergranular estivessem em equilíbrio.

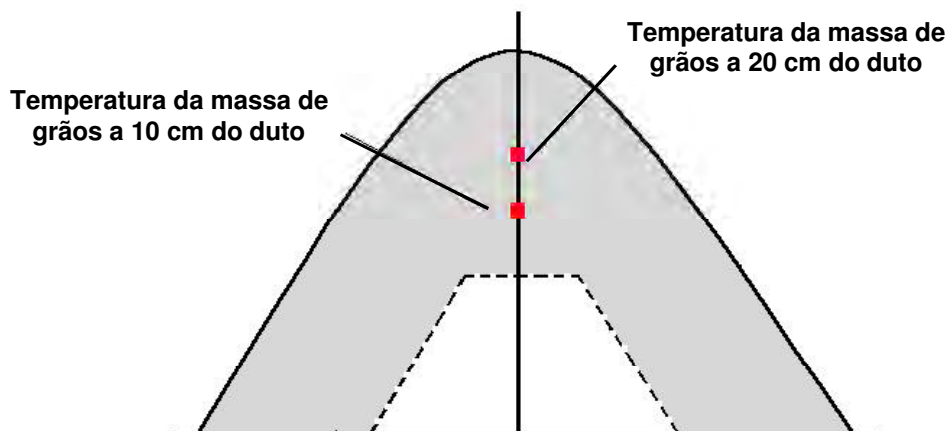


Figura 12 - Posicionamento dos termopares para o monitoramento da temperatura na massa de grãos.

3.5.1.4. Qualidade do produto

Para a análise do tipo e da qualidade da bebida, foram enviadas amostras do produto final, contendo 300 g de café beneficiado, obtido em cada tratamento de secagem, bem como amostras das testemunhas secadas no

terreiro convencional para a INCOFEX ARMAZÉNS GERAIS LTDA, onde foram feitas as análises sensoriais e organolépticas e a classificação do café.

3.5.2. Parâmetros relativos ao ar

3.5.2.1. Temperatura do ar de secagem

Foram monitoradas as temperaturas do ar de secagem na entrada do duto principal, no interior e na saída do duto de ar, na massa de grãos a 0,10 e 0,20 m do duto de ar e na exaustão, conforme descrito no item 3.1. As leituras foram realizadas em intervalos de 15 minutos. A posição dos termopares é mostrada na Figura 13.

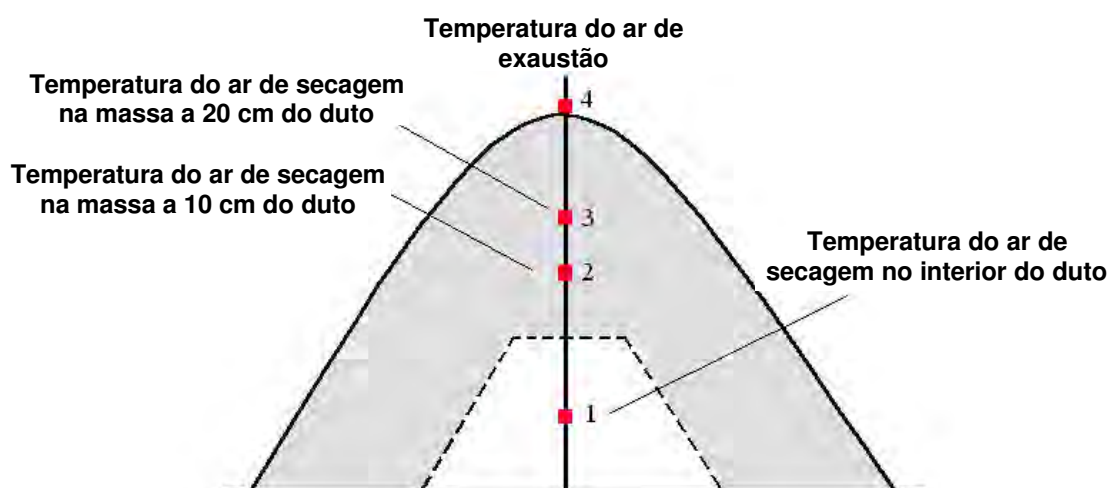


Figura 13 - Posicionamento dos termopares para a medição da temperatura do ar de secagem.

3.5.2.2. Temperatura e umidade relativa do ar ambiente e radiação solar

Para o monitoramento das condições ambiente, utilizou-se uma mini estação meteorológica com sistema automático de registro de dados. Para a coleta dos dados de temperatura e umidade relativa do ar ambiente, foi utilizado um sensor integrado de leitura de temperatura e umidade relativa com precisão de 3%. Para a coleta dos dados de radiação solar global, foi utilizado um piranômetro com precisão de 1%.

Os dados foram registrados de minuto em minuto, armazenados em um microcomputador e analisados, tomando-se a média horária das leituras observadas experimentalmente.

3.5.2.3. Medição da velocidade do ar

Para a medição da velocidade do ar na saída do café enleirado sobre o duto de ar, utilizado nos Terreiros Híbridos, foi construído em chapa de ferro um convergente (Figura 14) com base de 1x1 m e na saída, uma circunferência de 0,11 m de diâmetro onde foi adaptado o anemômetro digital de pás. Na base do convergente foi feito, em lados opostos, uma circunferência para formar a angulação do café na leira, permitindo que este ficasse bem encaixado. Este convergente foi colocado em vários pontos aleatórios, ao longo das leiras, para a medição da velocidade.

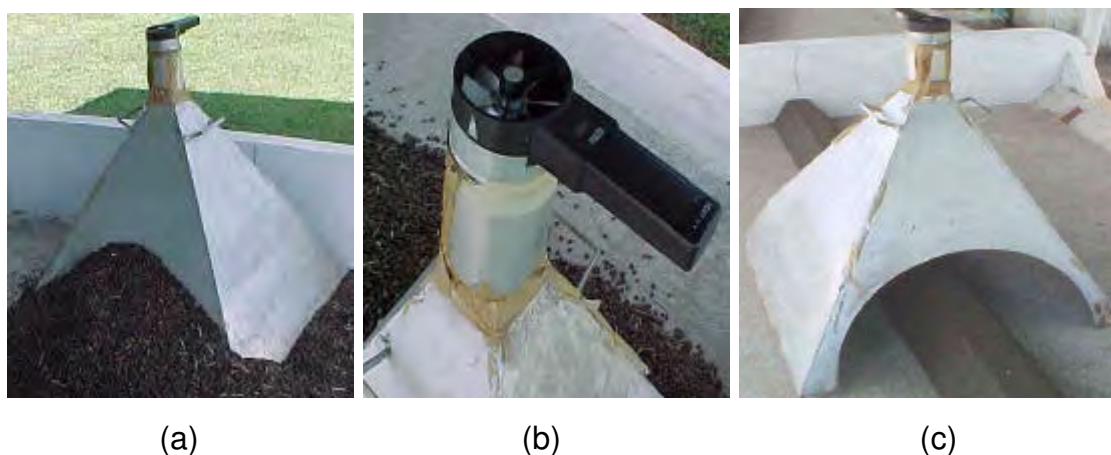


Figura 14 – (a) Vista geral do convergente sobre a leira de café; (b) Detalhes da colocação do anemômetro na saída do convergente; (c) Detalhes da circunferência feita na base do convergente.

3.5.3. Consumo de energia

3.5.3.1. Motor do ventilador

O consumo de energia elétrica dos motores dos ventiladores dos Terreiros Híbridos foi medido utilizando-se um medidor de energia elétrica do

tipo residencial, com precisão de leitura de 1 kWh. Visando a uniformização dos dados de consumo de energia, utilizou-se a relação 1kWh =3600 kJ.

3.5.3.2. Combustível

Para o aquecimento do ar de secagem, foi utilizada uma fornalha de fogo direto, construída conforme descrito no item 3.2.

Para a caracterização do carvão vegetal e da lenha de eucalipto (*Eucalyptus grandis*), foram determinados os teores de água, materiais voláteis, cinzas, carbono fixo e poder calorífico, enquanto a massa específica e a porosidade foram calculadas segundo as metodologias descritas por LELLES e SILVA (1994).

A amostragem e a preparação das amostras para análise química e física foram feitas segundo a norma NBR – 6923 da ABNT.

3.5.3.2.1. Medida da massa específica a granel

A massa específica a granel foi medida conforme a metodologia a seguir: utilizou-se uma caixa com dimensões internas de 0,61 x 0,61 x 0,61 m, segundo a norma NBR 6922/81 da ABNT. As massas da caixa vazia e cheia de carvão vegetal foram medidas e a massa específica a granel (D) foi calculada por meio da equação:

$$D = \frac{(M_2 - M_1)}{V} \quad (\text{eq.13})$$

em que

D = massa específica a granel, kg.m⁻³;

M₁ = massa da caixa vazia, kg;

M₂ = massa da caixa cheia de carvão, kg; e

V = volume da caixa, m³ (0,216 m³).

3.5.3.2.2. Análise imediata

Segundo LELLES e SILVA (1994), a análise imediata baseia-se nas normas da ASTM D – 1762-64 “Chemical Analysis of Wood Charcoal” e da ABNT NBR 8112/83 “Carvão Vegetal – Análise Imediata”.

A análise imediata foi realizada determinando-se, primeiramente, o teor de água do carvão vegetal. Retirou-se uma amostra representativa do lote, que foi moída e peneirada em peneira de malha de 19,1 mm, conforme as recomendações da norma NBR – 6923 da ABNT. Em seguida, retirou-se 500 g do material peneirado, colocando-o em estufa com circulação natural de ar, a 103 ± 2 °C, até que as amostras atingissem peso constante. A umidade, em base seca, foi calculada de acordo com a seguinte equação:

$$U_{bs} = \frac{(P1 - P2)}{P2} \quad (\text{eq.14})$$

em que

U_{bs} = umidade, decimal, b.s.;

P1 = massa da amostra de carvão úmido, g (500 g); e

P2 = massa da amostra de carvão seco, g.

Foram utilizadas quatro repetições para a análise imediata.

Para a medição do teor de matérias voláteis do carvão (MV), separou-se e reduziu-se a pó uma porção do carvão com granulometria inferior a 19,1 mm; o material foi secado e passado em peneira de malha 35 U.S. Tyler (0,420 mm), ficando retido em peneira de malha 60 U.S. Tyler (0,250 mm). 1 g do material seco foi colocado em um cadinho tampado e levado a mufla à temperatura de 900 ± 10 °C, durante sete minutos. Após esfriar o cadinho em dessecador, o mesmo foi pesado. O teor de voláteis foi calculado pela equação:

$$MV = \frac{(P2 - P3)}{P2} \quad (\text{eq.15})$$

em que

MV = teor de voláteis do carvão vegetal, %;

P2 = massa inicial do cadinho com a amostra, g; e

P3 = massa final do cadinho com a amostra, g.

Para a medição do teor de cinzas do carvão, separou-se 1 g de carvão previamente amostrado, segundo a norma da ABNT NBR 6923, isento de umidade e de granulometria inferior a 0,21 mm e superior a 0,15 mm. Esta amostra foi colocada em um cadinho sem tampa, na mufla, a 700 ± 10 °C durante seis a oito horas, até a completa combustão. Retirou-se a amostra da estufa e, após esta entrar em equilíbrio de temperatura com o ar ambiente, mediu-se a sua massa. O cálculo foi feito pela equação:

$$CZ = \frac{P4}{P2} \cdot 100 \quad (\text{eq.16})$$

em que

CZ = teor de cinzas no carvão, %;

P4 = massa do resíduo, g; e

P2 = massa da amostra seca, g.

O teor de carbono fixo (CF) foi calculado pela seguinte equação:

$$CF = 100 - (CZ + MV) \quad (\text{eq.17})$$

3.5.3.2.3. Determinação do poder calorífico superior (PCS)

As amostras foram moídas, passadas nas peneiras Tyler 40/60 U.S, segundo a norma ASTM D-2015-66, e levadas à estufa a 100 °C, durante duas horas. Colocou-se 0,5 g do material no cadinho e, usando a bomba calorimétrica de Malher, determinou-se o PCS. A equação 18 foi utilizada para o cálculo do poder calorífico.

$$PCS = C. ? t. \frac{(C1 + C2)}{ma} \quad (18)$$

em que

PCS = poder calorífico superior, kcal.kg⁻¹;

C = constante do calorímetro (=246,98);

Δt = temperatura final (t_f) – temperatura inicial (t_i), °C;

C1 = correção em calorias para cada centímetro de fio queimado (2,3 cal.cm⁻¹);

C2 = correção em calorias para titulação em ácido nítrico, cal (1 cal = 4,186 J); e

ma = massa inicial, kg.

A partir do PCS, calculou-se o poder calorífico inferior (PCI) empregando-se a equação de Dulong (SILVA, 1988):

$$PCI = PCS - 2450.(9.P_{H_2}) \quad (\text{eq.19})$$

em que

PCS = poder calorífico superior, kJ kg⁻¹; e

P_{H2} = fração de hidrogênio no combustível, kg de H₂.kg decombustível⁻¹.

O consumo específico de energia foi calculado de duas maneiras (FREIRE, 1998):

a) Real - conhecendo-se o poder calorífico do carvão:

$$E_1 = PCI.c.t.\frac{(100 - U_f)}{M_i(U_i - U_f)} \quad (\text{eq.20})$$

em que

E₁ = consumo específico real de energia, kJ kg⁻¹ de água evaporada;

c = consumo de carvão, kg.h⁻¹;

t = tempo total da secagem, h;

M_i = massa inicial do produto, kg;

U_i = teor inicial de água do produto, % b.u.; e

U_f = teor final de água do produto, % b.u..

b) Teórico - balanço energético do ar que passa pela fornalha:

$$E_2 = \frac{Q \cdot Ca \cdot (Ts - Ta) \cdot t \cdot (100 - U_f) \cdot 60}{Ve \cdot M_i \cdot (U_i - U_f)} \quad (\text{eq.21})$$

em que

E_2 = consumo específico teórico de energia, kJ kg^{-1} de água evaporada;

Q = vazão do ar de secagem, $\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$;

Ca = calor específico do ar ambiente, $1,0048 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$;

Ts = temperatura do ar de secagem, $^\circ\text{C}$;

Ta = temperatura do ar ambiente, $^\circ\text{C}$; e

Ve = volume específico do ar ambiente, $\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$.

A medida da massa de carvão consumida foi realizada em uma balança de plataforma, com capacidade para 200 kg e precisão de 0,1 kg.

A massa inicial do café foi obtida conforme descrito no item 3.5.1.2. A massa final foi obtida indiretamente, pela relação entre a massa inicial e os teores inicial e final de água, utilizando-se a seguinte equação.

$$M_f = \frac{(100 - U_i) \cdot M_i}{(100 - U_f)} \quad (\text{eq.22})$$

em que

M_f = massa final do produto, kg; e

M_i = massa inicial do produto, kg.

Na equação 21, do balanço energético do ar, supondo-se que a fornalha tenha sido ideal e que não tenha ocorrido perda de calor, pôde-se calcular a eficiência energética da secagem pela equação:

$$\eta = \frac{E_2 \cdot 100}{E_1} \quad (\text{eq.23})$$

em que

η = eficiência energética da secagem, %.

O consumo total de energia proveniente da queima do combustível foi calculado para cada tratamento pela equação a seguir:

$$E_{1T} = \frac{E_1 \cdot M_i \cdot (U_i - U_f)}{(100 - U_f)} \quad (\text{eq.24})$$

em que

E_{1T} = consumo total de energia, kJ.

Os consumos de energia elétrica dos motores dos ventiladores e dos Terreiros Híbridos foram medidos conforme descrito no item 3.5.3.1.

O consumo específico total de energia, que representa a quantidade de energia necessária para evaporar uma unidade de massa de água evaporada do produto durante o processo de secagem, foi obtido pela equação:

$$ET = \frac{EC \cdot (100 - U_f)}{M_i \cdot (U_i - U_f)} \quad (\text{eq.25})$$

em que

ET = consumo específico total de energia, kJ kg⁻¹ de água evaporada; e

EC = energia utilizada durante a secagem (térmica + elétrica + solar), kJ.

A energia utilizada durante a secagem foi estimada por:

$$EC = E_{1T} + E_e + E_s \quad (\text{eq.26})$$

em que

E_e = utilização total de energia elétrica, kJ;

E_s = utilização total de energia solar, kJ; e

E_{1T} = utilização total de energia química, kJ.

3.5.4. Capacidade nominal de secagem

A capacidade nominal de secagem foi calculada, para os tratamentos e as testemunhas, utilizando-se a seguinte fórmula:

$$C = \frac{M_i}{t} \quad (\text{eq.27})$$

em que

C = capacidade nominal de secagem, kg.h⁻¹; e

t = tempo total de secagem, h.

3.5.5. Comparação dos custos de secagem de café em terreiros

A comparação dos custos de secagem de café (cereja lavado e cereja descascado), utilizando-se a secagem completa em terreiro convencional, secagem completa em Terreiro Híbrido 1, secagem completa em Terreiro Híbrido 2 e pré-secagem em terreiro convencional e secagem complementar em Terreiro Híbrido 2, foi feita através de micro em uma planilha eletrônica, empregando-se as equações 1 a 12, que levam em consideração vários parâmetros de custo envolvidos no processo de secagem. Entre eles: energia para movimentar e aquecer o ar de secagem, mão-de-obra, equipamentos, manutenção, depreciação, taxas, seguros, juros e custo de quebra técnica ou redução de qualidade. Na análise foram considerados, separadamente, os custos energéticos de aquecimento e de movimentação do ar. Os outros custos foram assumidos e considerados fixos (SILVA et al., 2001).

Para utilização da planilha eletrônica do sistema de secagem, deve-se informar:

- Número de plantas (pés);
- Produção, litros por planta;
- Porcentagem de café (cereja, passas, verde e varrição);
- Tempo de colheita (dias); e
- Custo de mão-de-obra para o preparo do café (R\$/h).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados experimentais médios das condições do ar ambiente, de secagem e de exaustão e as temperaturas médias observadas na massa do café enleirado nos Terreiros Híbrido 1 e convencionais, com a utilização da energia solar, e no Terreiro Híbrido 2, sem a utilização da energia solar estão apresentados na Tabela 3 e os resultados das condições iniciais e finais do produto, a capacidade, a taxa e os tempos de secagem para as temperaturas do ar de secagem observada, utilizadas nos tratamentos estão apresentados na Tabela 4.

Os altos valores de umidade relativa do ar ambiente, registrados nos oito tratamentos (92, 67, 75, 83 e 92, 71, 75, 72%, respectivamente), foram atribuídos, provavelmente, ao fato de os sistemas de secagem, com a utilização dos Terreiros Híbridos, terem se estendido pelo período noturno, enquanto os valores das umidades relativas do ar ambiente, utilizadas nos terreiros convencionais, foram 85, 74, 65 e 84%, respectivamente.

A vazão de ar, calculada a partir da velocidade do ar por meio de um anemômetro digital de pás, descrita no item 3.5.2.3, foi de $40,2 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$. A vazão específica do ar utilizada foi $5,8 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$, determinada pela divisão da vazão do ar pela área total do duto de ar.

Em razão da grande quantidade de café demandado (cereja lavado e cereja descascado) e de suas características, não foi possível padronizar a umidade e a massa inicial do produto em todos os tratamentos.

Tabela 3 – Temperaturas do ar de secagem, de exaustão e ambiente, umidades relativas do ambiente e de exaustão e temperaturas da massa de café, em valores médios

Tratamentos	Temperatura Média do Ar			Umidade Relativa Média do Ar		Temperatura Média da Massa de Café (°C)
	Ambiente	Secagem	Exaustão	Ambiente	Exaustão	
	(°C)	(°C)	(°C)	(%)	(%)	
T ₁	16,1	53,2±3,2	25,9	92,1	58,1	35,8
T ₅	16,3	38,6±1,6	24,4	91,5	59,8	24,8
T ₉	15,3	15,3±2,5	-	84,5	-	-
T ₂	24,1	54,5±2,7	25,7	66,8	60,2	35,6
T ₆	23,4	38,9±1,8	25,6	70,7	58,8	27,1
T ₁₀	23,2	23,2±6,1	-	74,0	-	-
T ₃	18,3	54,1±3,9	21,7	74,8	73,2	38,1
T ₇	18,3	37,5±2,1	21,6	74,8	66,4	24,4
T ₁₁	20,6	20,6±6,2	-	64,7	-	-
T ₄	18,2	55,1±3,5	21,5	81,4	70,7	36,1
T ₈	16,6	37,3±2,1	19,7	71,7	69,9	23,7
T ₁₂	15,9	15,5±6,0	-	84,0	-	-

Tabela 4 – Temperaturas do ar de secagem fixadas; massa e umidade do café; tempo, capacidade e taxa de secagem

Tratamentos	Temperatura	Massa de Café		Teor de Água do Café		Tempo de Secagem	Capacidade de Secagem	Taxa de Secagem
	Média do Ar de Secagem Observada	Inicial	Final	Inicial	Final			
	(°C)	(kg)	(kg)	(% b.u.)	(%b.u.)			
T ₁	53,2±3,2	3000	2095	38,7	12,2	45	67,0	20,11
T ₅	38,6±1,6	3000	2041	40,5	12,5	57	53,0	16,82
T ₉	15,3±2,5	2730	2033	34,6	12,2	216	13,0	3,23
T ₂	54,5±2,7	3000	2130	37,0	11,2	54	56,0	16,11
T ₆	38,9±1,8	3000	2122	37,9	12,2	69	43,0	12,72
T ₁₀	23,2±6,1	2880	2082	36,3	11,9	240	12,0	3,32
T ₃	54,1±3,9	3300	1652	56,1	12,3	54	61,0	27,02
T ₇	37,5±2,1	3300	1612	57,5	12,3	87	38,0	19,40
T ₁₁	20,6±6,2	3050	1560	55,1	12,2	360	8,5	4,14
T ₄	55,1±3,5	3300	1667	56,3	12,0	72	46,0	22,68
T ₈	37,3±2,1	3300	1593	57,8	12,6	99	33,0	17,24
T ₁₂	15,5±6,0	3100	1543	56,4	12,4	360	8,6	4,32

A temperatura média da massa de grãos não ultrapassou o limite preestabelecido de 40°C (Tabela 3), uma vez que este não é prejudicial ao café, pois, segundo QUILAQUEO (1979), o café tolera a temperatura do ar de secagem próximo de 40 °C, durante um ou dois dias, sem se danificar.

As condições experimentais observadas no ar ambiente (Tabela 4) referem-se aos valores médios oriundos de monitoramentos realizados em intervalos regulares de 3 horas, durante 24 horas, para os tratamentos realizados no Terreiro Híbrido 2, considerando-se o intervalo de tempo entre 18 e 9 horas, quando o ventilador permaneceu em funcionamento para os tratamentos relativos ao Terreiro Híbrido 1.

Os consumos totais de energia, biomassa, o consumo específico de energia e a taxa de água evaporada podem ser observados na Tabela 5.

Tabela 5 – Consumo total de energia elétrica, energia solar, consumo total de biomassa (carvão), taxa de água evaporada e o consumo específico de energia

Tratamentos	ConsumoTotal de Energia		Consumo Total de Biomassa (kg)	Taxa de H ₂ O Evaporada (kg h ⁻¹)	Consumo Específica de Energia (MJ kg ⁻¹ água)
	Elétrica (kWh ⁻¹)	Solar (MJ)			
T ₁	99,5	-	225,0	20,11	7,18
T ₅	126,0	-	182,4	16,82	5,66
T ₉	-	10.007,1	-	3,23	14,36
T ₂	66,9	7.582,9	150,0	16,11	13,70
T ₆	93,7	7.582,9	126,0	12,72	12,94
T ₁₀	-	14.401,0	-	3,32	18,05
T ₃	119,5	-	275,0	27,02	4,82
T ₇	192,3	-	260,0	19,40	4,62
T ₁₁	-	18.423,6	-	4,14	12,36
T ₄	100,8	6.173,7	240,0	22,68	8,03
T ₈	126,0	11.841,5	183,0	17,24	10,30
T ₁₂	-	20.451,1	-	4,32	13,13

PCI do carvão (27.302,6 kJ kg⁻¹)

Analisando a taxa de água evaporada, apresentada na Tabela 5, para os oito tratamentos, com temperatura média do ar de secagem observada em $54,2 \pm 3,3$ e $38,1 \pm 1,9$ °C, e para as quatro testemunhas, observa-se que a taxa de evaporação, para um mesmo tipo de café (cereja ou cereja descascado), foi maior para o sistema de secagem no Terreiro Híbrido 2, na temperatura de $54,2 \pm 3,3$ °C.

A utilização desta temperatura ($54,2 \pm 3,3$ °C) proporcionou menor consumo de energia elétrica em relação à energia consumida, quando foi utilizada a temperatura de $38,1 \pm 1,9$ °C para os dois tratamentos, apesar do maior consumo de biomassa na temperatura de $54,2 \pm 3,3$ °C. O consumo específico de energia foi maior no terreiro convencional em virtude do maior tempo demandado para a secagem e da utilização da energia solar como fonte de aquecimento do ar. Ao comparar as condições operacionais dos Terreiros Híbridos no preparo dos cafés cereja lavado e cereja descascado, com relação às temperaturas, observa-se que o consumo específico de energia foi menor quando se utilizou a temperatura de $38,1 \pm 1,9$ °C.

4.1. Temperaturas e umidades relativas

As variações médias da temperatura do ar de secagem e da massa de grãos, em função do tempo, para os tratamentos T_1 , T_2 , T_3 e T_4 , encontram-se nas Figuras 15, 16, 17 e 18. Os pontos de medição P_1 e P_3 foram localizados a 5 m, medidos a partir da lateral do terreiro, e a 0,10 e 0,20 m, respectivamente (Figura 12), em relação ao duto de ar. Os pontos P_2 e P_4 foram localizados a 10 m de distância, ao longo do duto de ar, medidos a partir da lateral do terreiro, mantendo-se as mesmas posições em relação ao duto. As temperaturas na massa de grãos, registradas pelos pontos P_1 e P_2 , foram superiores às registradas pelos pontos P_3 e P_4 por se encontrarem mais próximos do duto de ar e, portanto, receberem o ar mais aquecido.

As temperaturas da massa dos grãos medidas nos pontos localizados na mesma distância em relação ao duto de ar, porém em diferentes posições o longo do seu comprimento, apresentaram valores próximos (Figuras 15, 16, 17 e 18).

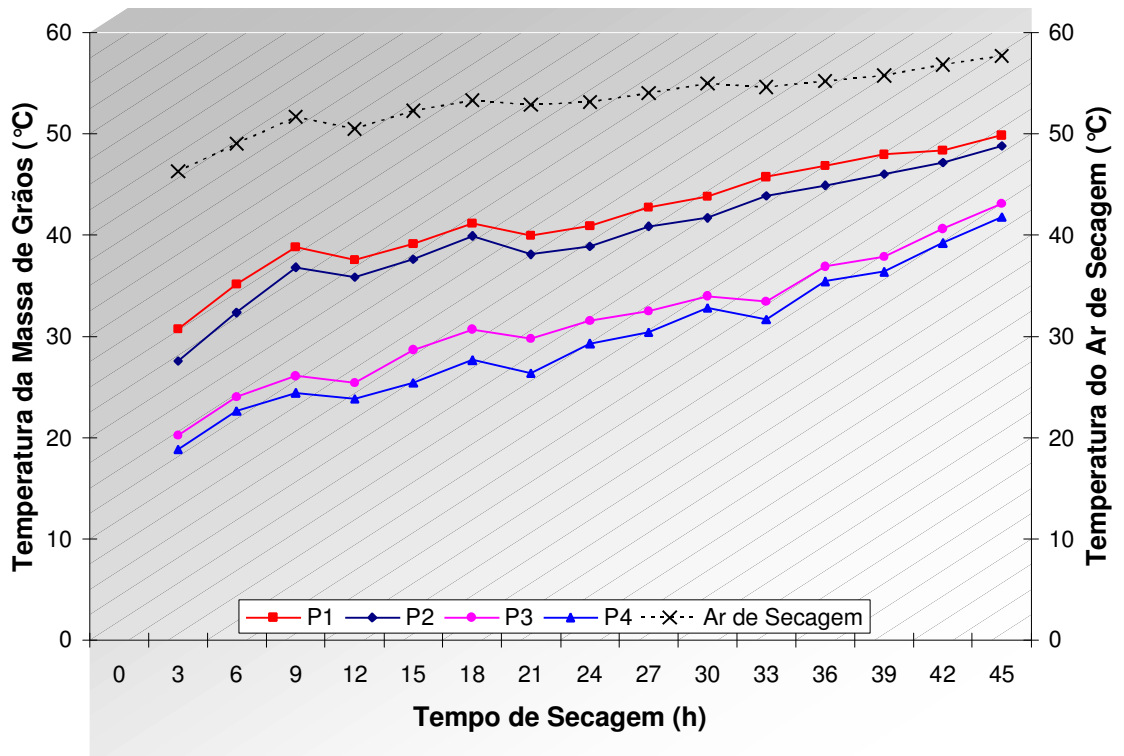


Figura 15 – Temperaturas médias do ar de secagem e da massa de grãos nos pontos P₁ e P₂, a, 0,10 m do duto de aeração, e a 0,20 m nos pontos P₃ e P₄, durante a secagem de café cereja descascado no Terreiro Híbrido 2, para o tratamento T₁.

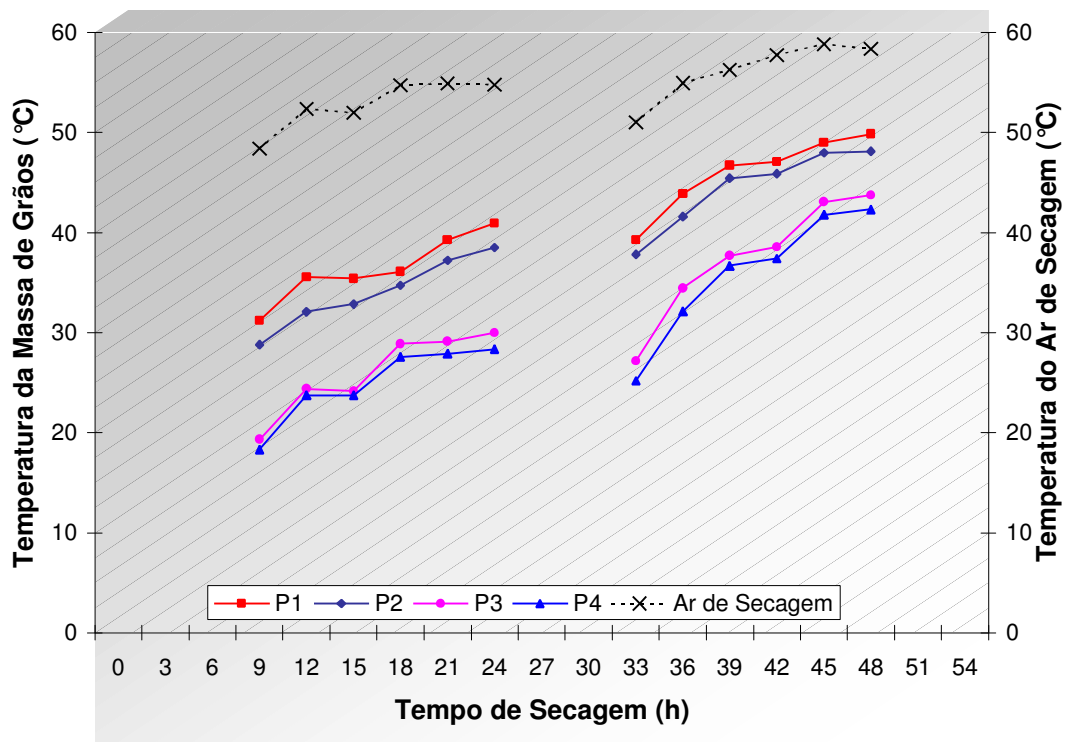


Figura 16 - Temperaturas médias do ar de secagem e da massa de grãos nos pontos P₁ e P₂, a, 0,10 m do duto de aeração, e a 0,20 m nos pontos P₃ e P₄, durante a secagem de café cereja descascado no Terreiro Híbrido 1, para o tratamento T₂.

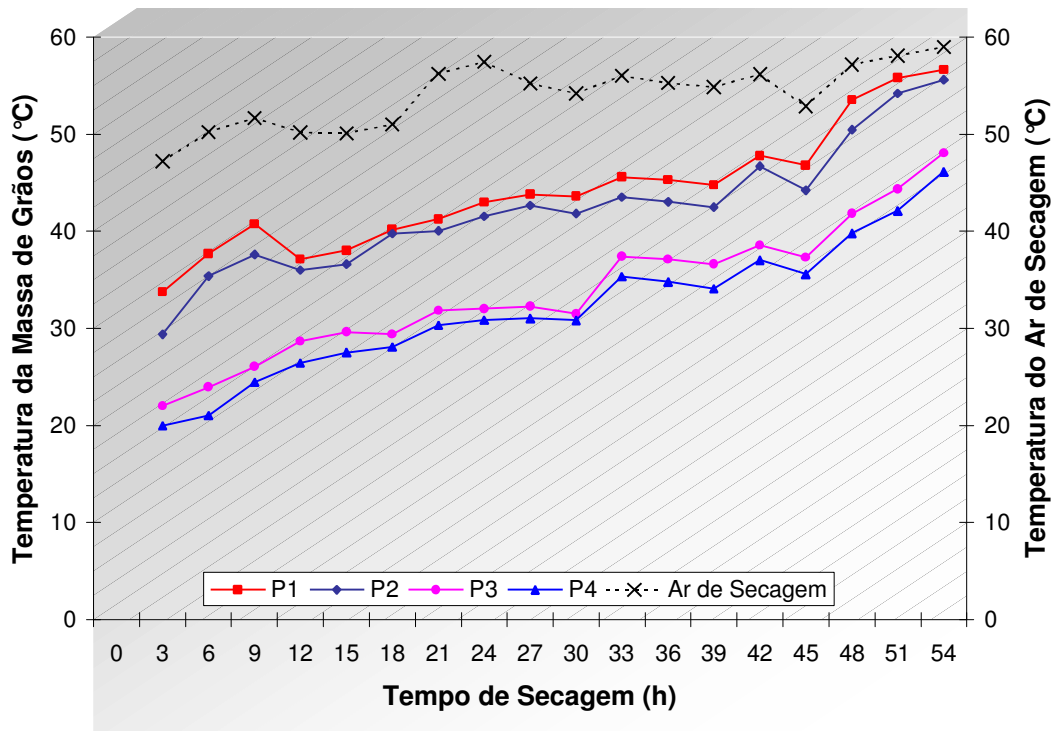


Figura 17 - Temperaturas médias do ar de secagem e da massa de grãos nos pontos P₁ e P₂, a 0,10 m do duto de aeração, e a 0,20 m nos pontos P₃ e P₄, durante a secagem de café cereja no Terreiro Híbrido 2, para o tratamento T₃.

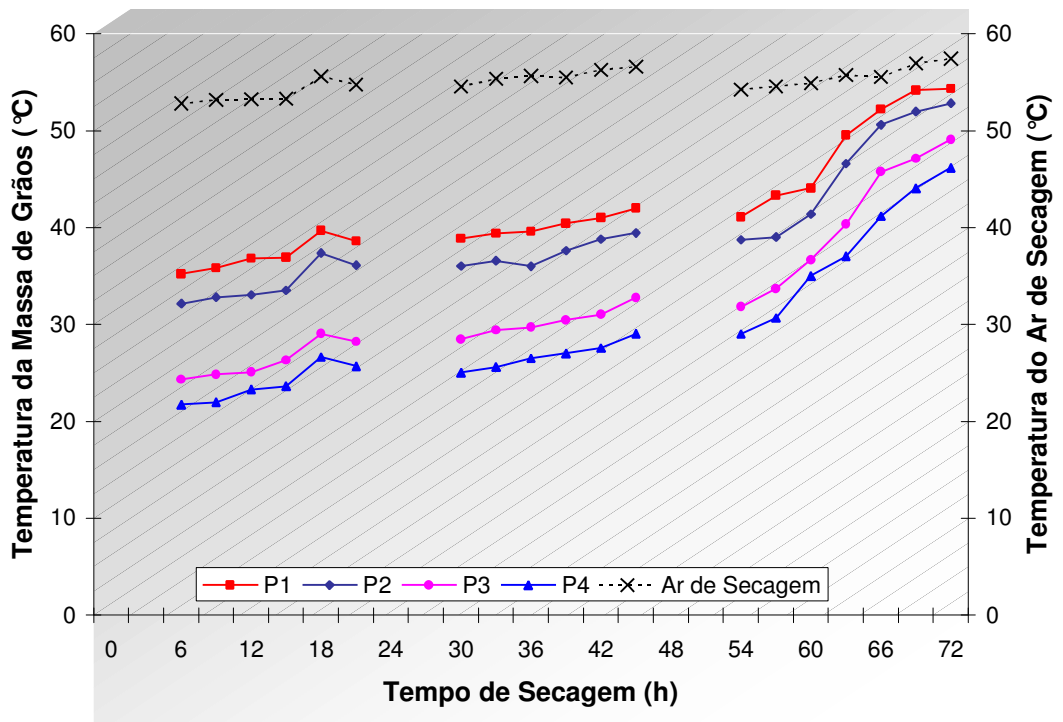


Figura 18 - Temperaturas médias do ar de secagem e da massa de grãos nos pontos P₁ e P₂, a 0,10 m do duto de aeração, e a 0,20 m nos pontos P₃ e P₄, durante a secagem de café cereja no Terreiro Híbrido 1, para o tratamento T₄.

Analisando o comportamento da temperatura da massa de grãos, observa-se que no início da secagem esta se apresenta menor por causa da maior quantidade de água existente no produto, tendendo a igualar-se à temperatura do ar no final da secagem.

A temperatura da massa dos grãos apresentou valores máximos de 49,9; 49,8; 56,6 e 54,3 °C para os tratamentos T₁, T₂, T₃ e T₄, respectivamente, no final da operação, uma vez que o produto tende a entrar em equilíbrio com a temperatura do ar de secagem devido à menor taxa de evaporação e a superfície dos grãos apresentarem menor teor de água.

Os dados da temperatura da massa de grãos referentes aos tratamentos T₅, T₆, T₇ e T₈ não foram plotados porque a temperatura de secagem de 40°C não oferece riscos à qualidade do café, pois, conforme dito anteriormente por QUILAQUEO (1979), o café tolera a temperatura do ar de secagem próxima a 40°C por um ou dois dias; 50°C por poucas horas e 60°C por menos de uma hora sem se danificar.

Nas Figuras 19, 20, 21 e 22 encontram-se os resultados referentes às temperaturas de exaustão e de secagem e umidades relativas do ar de exaustão, de secagem e do ambiente para os tratamentos T₁, T₂, T₃ e T₄.

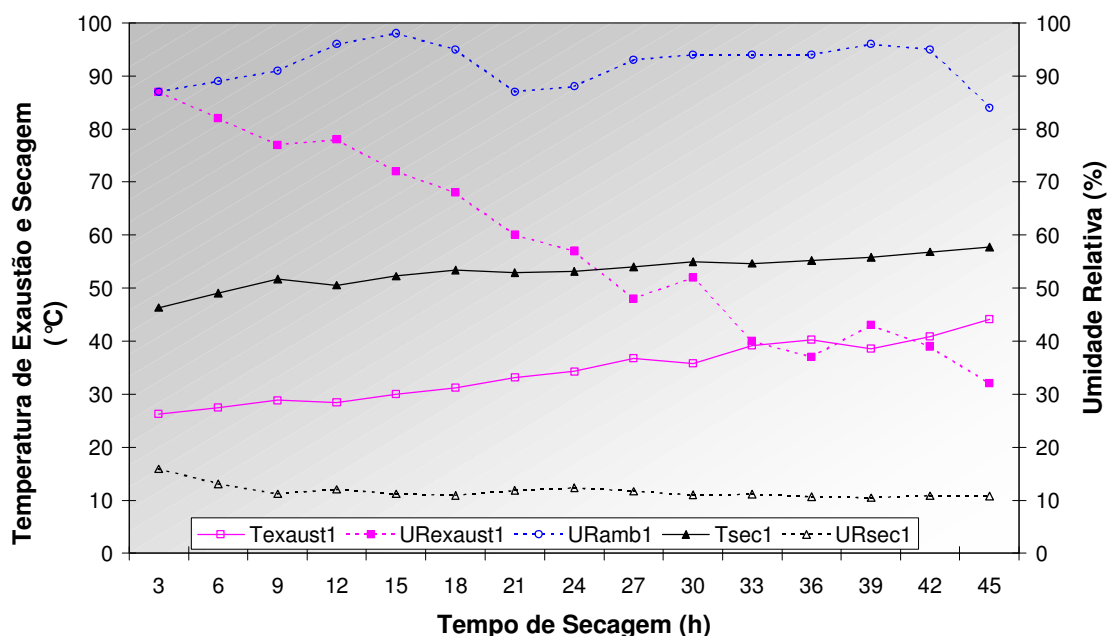


Figura 19 – Temperatura do ar de exaustão e de secagem e da umidade relativa do ar de exaustão, de secagem e do ambiente, durante a secagem de café descascado no Terreiro Híbrido 2, para o tratamento T₁.

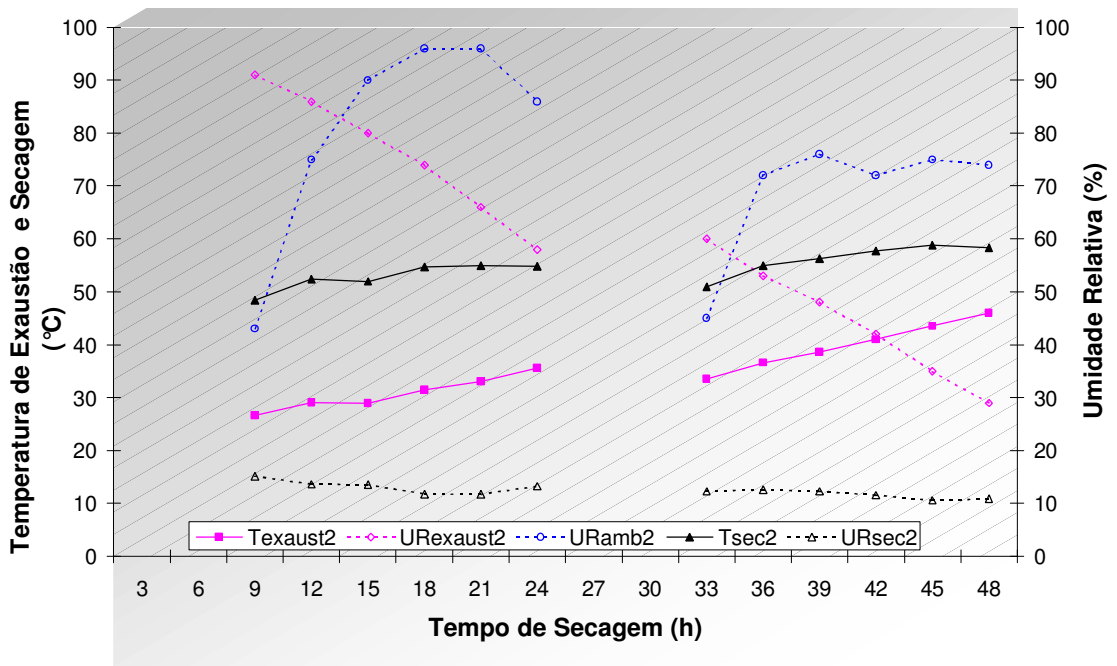


Figura 20 - Temperatura do ar de exaustão e de secagem e da umidade relativa do ar de exaustão, de secagem e do ambiente, durante a secagem de café descascado no Terreiro Híbrido 1, para o tratamento T₂.

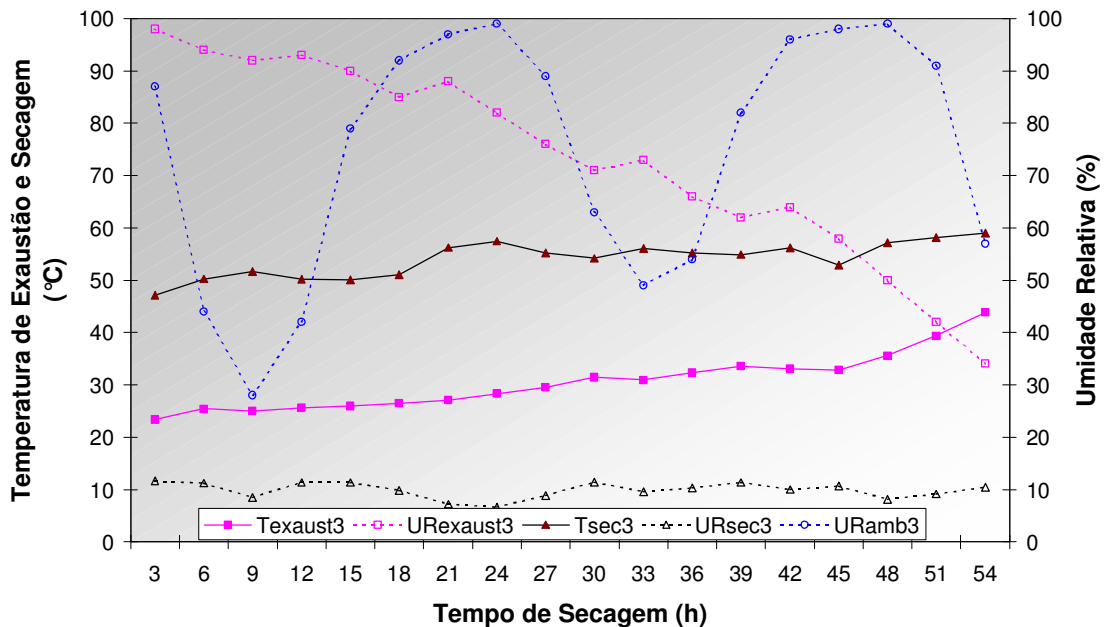


Figura 21 - Temperatura do ar de exaustão e de secagem e da umidade relativa do ar de exaustão, de secagem e do ambiente, durante a secagem de café cereja no Terreiro Híbrido 2, para o tratamento T₃.

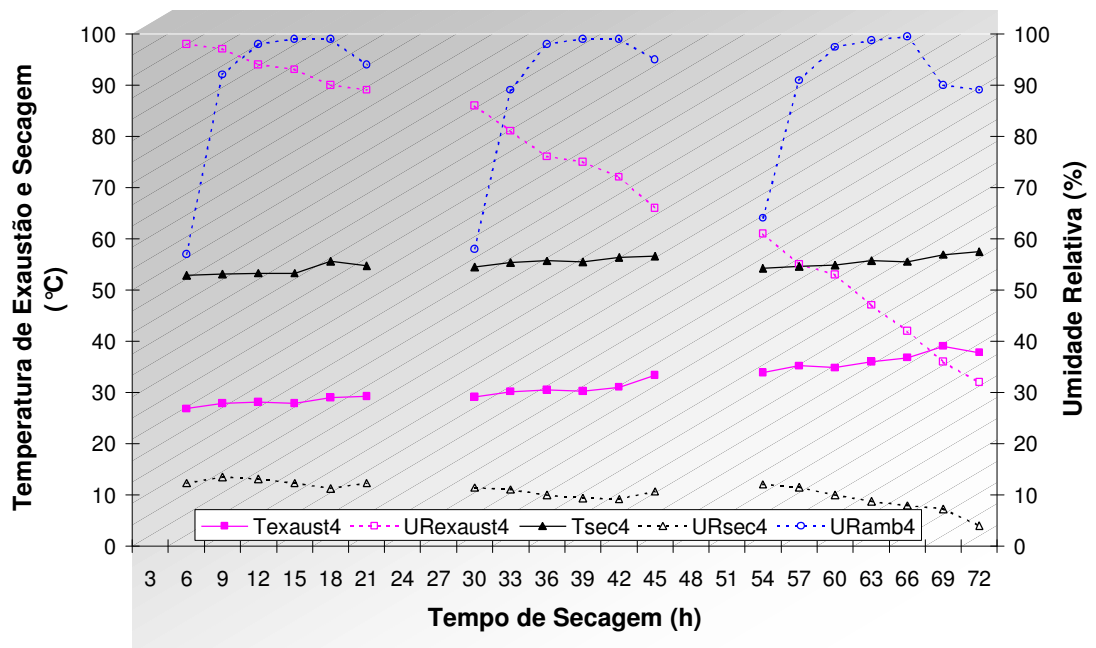


Figura 22 - Temperatura do ar de exaustão e de secagem e da umidade relativa do ar de exaustão, de secagem e do ambiente, durante a secagem de café cereja no Terreiro Híbrido 1, para o tratamento T₄.

Os pontos não plotados, observados nas Figuras 16, 18, 20 e 22, foram decorrentes das dificuldades e da indisponibilidade de equipamentos necessários para a coleta dos dados da temperatura da massa de grãos do ar de secagem e do ar de exaustão, no período em que o café processava a secagem com a utilização da energia solar, isto é; espalhado no terreiro entre 9 e 15 horas.

No início da secagem, tendo em vista a elevada umidade dos grãos de café e as facilidades do produto em perder água para o ar de secagem, a umidade relativa do ar de exaustão chegou a valores de até 100 % e menor temperatura, em relação ao final do processo (Figuras 19, 20, 21 e 22). No final do processo, observou-se que a umidade relativa apresentava-se baixa e a temperatura do ar de exaustão apresentava-se mais elevada devido à redução na taxa de evaporação da água dos grãos, em função do seu baixo teor de água.

Observou-se, durante os tratamentos, que a umidade relativa do ar de secagem variou de acordo com a variação da temperatura do ar de secagem. Entretanto, esta variação foi pequena em função da manutenção de uma

temperatura estável no ar, proporcionada pelas características operacionais da fornalha.

A temperatura média do ar ambiente, durante a realização de todos os tratamentos, foi de $18,9 \pm 5,2$ °C e a umidade relativa média de $78,0 \pm 14,0$ %.

Os valores de temperatura e umidade relativa do ar ambiente para as testemunhas T_9 , T_{10} , T_{11} e T_{12} , durante a secagem em terreiro convencional, no período entre 9 e 15 horas, são observados na Figura 23. A temperatura média do ar ambiente, durante a realização destes testes, foi de $18,6 \pm 4,6$ °C e a umidade relativa de $76,8 \pm 10,2$ %.

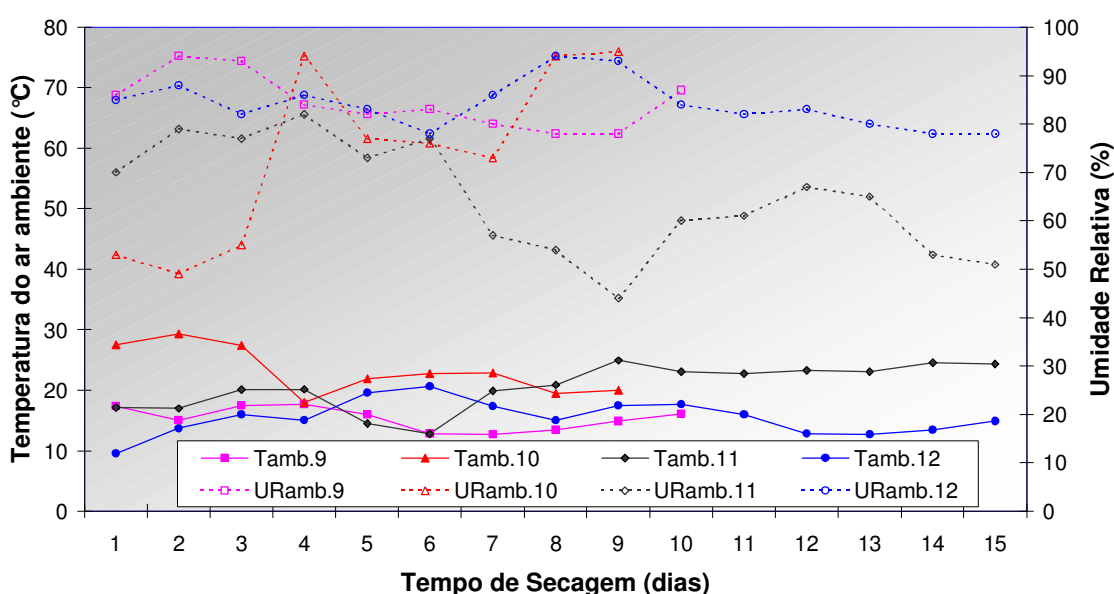


Figura 23 – Temperatura e umidade relativa do ar ambiente durante a secagem das testemunhas T_9 , T_{10} , T_{11} e T_{12} , em terreiro convencional.

As temperaturas médias do ar de secagem no plenum dos Terreiros Híbridos, para os tratamentos T_1 , T_2 , T_3 e T_4 , a uma distância de 0, 5, 10 e 15 m ao longo do duto de ar, foram de 58; 56; 52 e 51°C, respectivamente. Isto se deve ao fato de os pontos estarem distantes progressivamente da saída do ar de secagem do ventilador.

4.2. Características do carvão vegetal

4.2.1. Massa específica a granel

A massa específica a granel do carvão vegetal foi medida segundo a norma NBR 6922/81 da ABNT, descrita no item 3.5.3.2.1, utilizando-se a equação 13.

O valor de 231,43 kg.m⁻³ foi compatível com os valores observados na literatura, isto é; 200 a 300 kg.m⁻³, para uso como fonte de energia térmica em reatores (MENDES et. al., 1982).

4.2.2. Análise imediata

Os resultados médios da análise imediata, obtidos pelas equações 14, 15, 16 e 17, são mostrados na Tabela 6.

Tabela 6 – Teor de água (U_{bs}), matérias voláteis (MV), cinzas (CZ) e carbono fixo (CF) do carvão vegetal

U_{bs}	MV	CZ	CF
(b.s.)	(%)	(%)	(%)
0,079	18,52	1,14	80,34

O alto teor de carbono fixo, de 80,34 %, indica que a temperatura de carbonização provavelmente atingiu valores de 525 °C, com base nos dados obtidos por ALMEIDA (1993).

Observa-se, também, que o teor de cinzas encontrado, 1,14 %, apresentou-se abaixo do citado por ALMEIDA (1993), que foi de 2,50 %. A porcentagem de materiais voláteis encontrada, de 18,52 %, foi superior ao relatado pelo mesmo autor, de 17,15 %.

4.2.3. Poder calorífico superior

O poder calorífico superior (PCS) do combustível foi medido em uma bomba calorimétrica de Malher, segundo a metodologia citada no item 3.5.3.2.3, sendo o valor encontrado em sua determinação igual a 27.986 kJ kg⁻¹. A partir do PCS, calculou-se o poder calorífico inferior (PCI) empregando-se a equação 19 (equação de Dulong) citada por SILVA (1988) e o valor encontrado foi 27.302 kJ kg⁻¹.

O valor obtido para o poder calorífico superior do carvão vegetal utilizado (27.986 kJ kg⁻¹) está de acordo com os valores encontrados na literatura (SILVA, 1988) para madeira de eucalipto.

4.3. Curvas de secagem

As curvas de secagem do café cereja descascado, durante os tratamentos T₁, T₂, T₅ e T₆, são apresentadas na Figura 23; as curvas de secagem do café cereja lavado, durante os tratamentos T₃, T₄, T₇ e T₈, são apresentadas na Figura 25; e na Figura 26, as curvas de secagem das testemunhas T₉, T₁₀, T₁₁ e T₁₂.

Ao comparar o tempo necessário para a secagem do café, quando se utilizou o terreiro convencional, com o tempo necessário para a secagem nos Terreiros Híbridos 1 e 2, cujas temperaturas médias de secagem foram 54,2±3,3 e 38,1±1,9 °C, verificou-se que o tempo necessário para concluir a secagem no tratamento T₁ foi 1,3 vezes menor que o do tratamento T₅, utilizando o mesmo sistema de secagem, e 4,8 vezes menor que o da testemunha T₉, cuja secagem foi realizada em terreiro convencional. O tempo necessário para a secagem do tratamento T₂ foi 1,3 vezes menor que o do tratamento T₆, utilizando o mesmo sistema de secagem, e 4,4 vezes menor que o da testemunha T₁₀, secada no terreiro convencional. Todos os tratamentos acima foram realizados com a utilização de cafés cereja descascado.

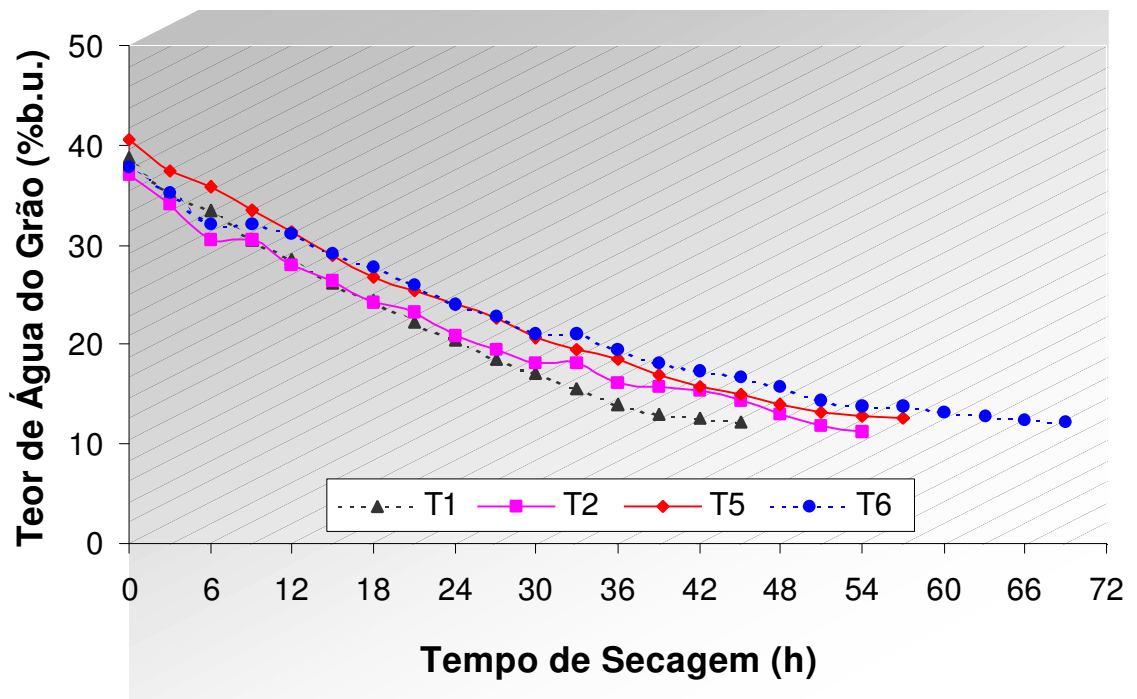


Figura 24 – Teor de água do café cereja descascado, em função do tempo de secagem, para os tratamentos T₁, T₂, T₅ e T₆.

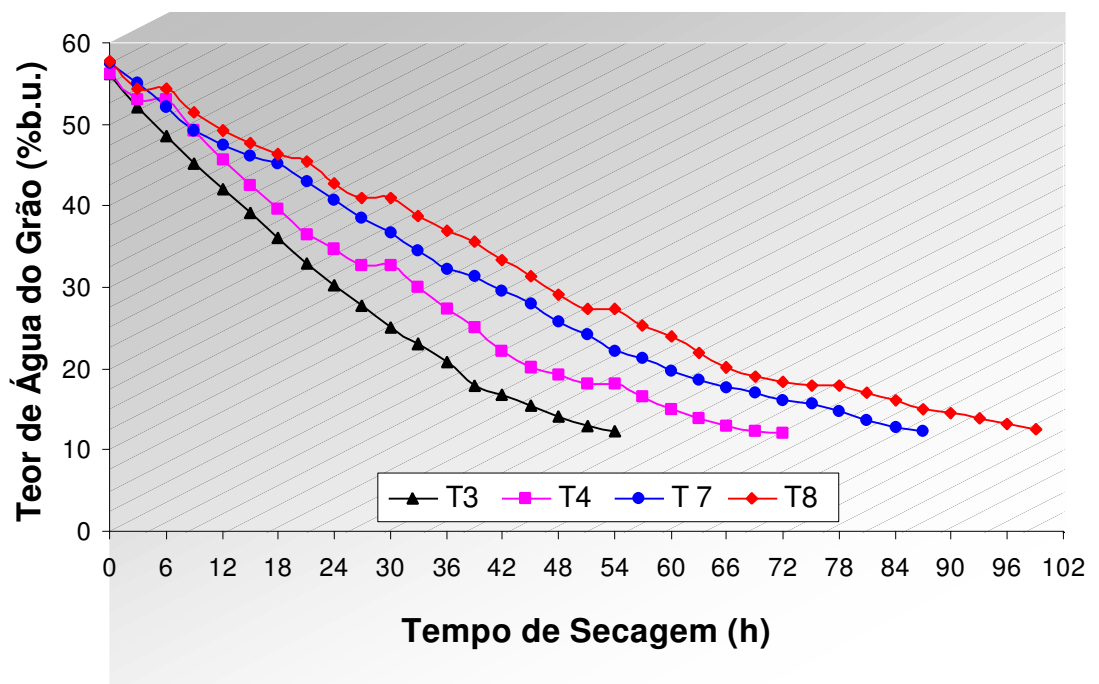


Figura 25 – Teor de água do café cereja, em função do tempo de secagem, para os tratamentos T₃, T₄, T₇ e T₈.

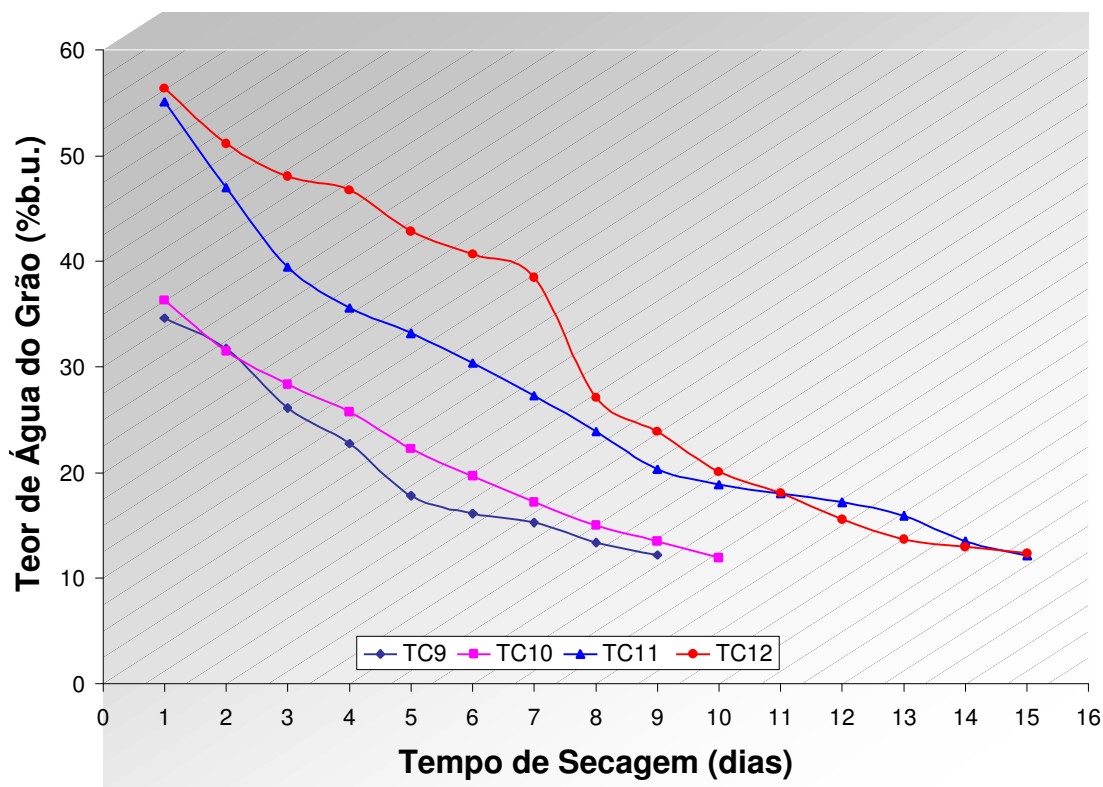


Figura 26 – Teor de água do café cereja e cereja descascado, em função do tempo de secagem, para os tratamentos T₉, T₁₀, T₁₁ e T₁₂ (Testemunha).

O tempo necessário para a secagem do tratamento T₃ foi 1,6 vezes menor que o do tratamento T₇, utilizando o mesmo sistema de secagem, e 6,2 vezes menor que o da testemunha T₁₁, cuja secagem foi realizada no terreiro convencional. O tempo necessário para a secagem do tratamento T₄ foi 1,4 vezes menor que o do tratamento T₈, utilizando o mesmo sistema de secagem, e 5,0 vezes menor que o da testemunha T₁₂, cuja secagem foi realizada no terreiro convencional. Todos os tratamentos foram realizados com a utilização de cafés cereja.

Observa-se, pelos resultados encontrados, que o tempo necessário para a secagem dos tratamentos T₁, T₂, T₃ e T₄, quando comparado com o tempo gasto nos tratamentos T₅, T₆, T₇ e T₈, foi menor em função da temperatura média utilizada para a secagem, de 54,2±3,3 e 38,1±1,9 °C respectivamente, independentemente do sistema de secagem e do tipo de café. Ao comparar os resultados dos tempos necessários para processar a secagem de café nos Terreiros Híbridos com o terreiro convencional, pode-se verificar que o tempo observado para os Terreiros Híbridos foi, em média, 4,6

vezes menor que o tempo do terreiro convencional, quando utilizou-se café cereja descascado, e 5,6 vezes menor quando utilizou-se café cereja lavado.

4.4. Consumo de energia

Os valores da umidade dos grãos de café, da energia do combustível, calculada pela equação 26, e da energia solar necessária para realizar a secagem estão apresentados na Tabela 7. Os valores dos consumos específicos de energia referentes à biomassa, calculados pela equação 25, e da energia solar, em função do tempo de secagem para cada tratamento, também são mostrados na Tabela 7.

Tabela 7 – Resultados observados do tempo de secagem, da variação da massa e do teor de água do produto, do consumo de energia, do consumo específico de energia referente ao combustível e da energia solar durante a secagem, nos Terreiros Híbridos 1 e 2

Tratamentos	Tempo (h)	Massa (kg)	Teor de Água do Grão (%b.u.)	Consumo Total de Energia (MJ)		Consumo Específico de Energia (MJ kg ⁻¹)	
				Combustível	Solar	Combustível	Solar
T ₁	0	3.000	38,7	-	-	-	-
	6	2.761	33,4	866,81	-	3,63	-
	12	2.572	28,5	866,81	-	4,58	-
	18	2.436	24,5	866,81	-	6,36	-
	24	2.310	20,4	866,81	-	6,99	-
	30	2.221	17,2	866,81	-	9,55	-
	36	2.139	14,0	866,81	-	10,49	-
	42	2.104	12,6	866,81	-	26,23	-
	45	2.095	12,2	433,41	-	40,37	-
Total		905		6.501,08	-	7,18	-
T ₂	0	3.000	37,0	-	-	-	-
	6	2.720	30,5	-	2.896,43	-	10,34
	12	2.568	26,4	867,24	-	5,71	-
	18	2.464	23,3	867,24	-	8,34	-
	21	2.389	20,9	433,62	-	5,78	-
	27	2308	18,1	-	2.792,23	-	34,47
	33	2.242	15,7	867,24	-	13,20	-
	39	2.205	14,3	867,24	-	23,68	-
	42	2.172	13,0	433,62	-	13,16	-
**	6	2.130	11,2	-	1.894,23	-	45,10
Total		870		4.336,20	7.582,89	4,98	8,72

Tabela 7 - Continuação

Tratamentos	Tempo (h)	Massa (kg)	Teor de Água do Grão (%b.u.)	Consumo Total de Energia (MJ)		Consumo Específico de Energia (MJ kg ⁻¹)	
				Combustível	Solar	Combustível	Solar
T ₃	0	3.300	56,1	-	-	-	-
	6	2.813	48,5	883,19	-	1,82	-
	12	2.498	42,0	883,19	-	2,80	-
	18	2.260	35,9	883,19	-	3,71	-
	24	2.076	30,2	883,19	-	4,75	-
	30	1.934	25,1	883,19	-	6,23	-
	36	1.829	20,8	883,19	-	8,49	-
	42	1.741	16,8	883,19	-	10,04	-
	48	1.685	14,0	883,19	-	15,57	-
	54	1.652	12,3	883,19	-	26,59	-
Total		1.648		7.948,71	-	4,82	-
T ₄	0	3.300	56,3	-	-	-	-
	3	3.068	53,0	-	2.093,34	-	9,02
	9	2.656	45,7	866,81	-	2,11	-
	15	2.392	39,7	866,81	-	3,24	-
	18	2.275	36,6	433,41	-	3,73	-
	24	2.140	32,6	-	2.084,88	-	15,44
	30	1.986	27,4	842,94	-	5,39	-
	36	1.856	22,3	842,94	-	6,38	-
	39	1.807	20,2	433,41	-	8,69	-
	45	1.772	18,6	-	1.995,45	-	57,01
	51	1.699	15,1	842,94	-	13,14	-
	57	1.660	13,1	842,94	-	20,60	-
63	1.667	12,0	842,94	-	41,88	-	
**	9		-	-	anleirandc	-	-
Total		1.633		6.934,48	6.173,67	4,25	3,78
T ₅	0	3.000	40,5	-	-	-	-
	6	2.780	35,8	571,95	-	2,59	-
	12	2.595	31,2	571,95	-	3,13	-
	18	2.439	26,8	571,95	-	3,66	-
	24	2.336	23,6	571,95	-	5,54	-
	30	2.254	20,8	571,95	-	6,78	-
	36	2.182	18,2	571,95	-	7,87	-
	42	2.120	15,8	571,95	-	9,70	-
	48	2.076	14,0	571,95	-	12,60	-
	54	2.049	12,9	571,95	-	21,62	-
	57	2.041	12,5	285,97	-	32,12	-
Total		959		5.433,52	-	5,66	-
T ₆	0	3.000	38,0	-	-	-	-
	6	2.735	32,0	-	2.896,42	-	10,93
	12	2.609	28,7	539,61	-	4,23	-
	18	2.497	25,5	539,61	-	4,87	-
	21	2.447	24,0	269,81	-	5,29	-
	27	2.354	21,0	-	2.792,23	-	30,02
	33	2.288	18,7	539,61	-	8,09	-

Tabela 7 – Continuação

Tratamentos	Tempo (h)	Massa (kg)	Teor de Água do Grão (%b.u.)	Consumo Total de Energia (MJ)		Consumo Específico de Energia (MJ kg ⁻¹)	
				Combustível	Solar	Combustível	Solar
T ₆	39	2.264	16,7	539,61	-	9,80	-
	42	2.209	15,8	269,81	-	11,16	-
	48	2.158	13,8	-	1.894,24	-	37,14
	54	2.131	12,7	539,61	-	19,80	-
	60	2.122	12,2	539,61	-	44,40	-
***	9	-	-	-	enleirando	-	-
Total		878		3.777,27	7.582,89	4,30	8,64
T ₇	0		57,5	-	-	-	-
	6	3.300	52,1	537,94	-	1,45	-
	12	2.928	47,5	537,94	-	2,09	-
	18	2.672	43,1	537,94	-	2,58	-
	24	2.465	38,8	537,94	-	3,11	-
	30	2.292	34,6	537,94	-	3,72	-
	36	2.145	30,8	537,94	-	4,48	-
	42	2.027	27,4	537,94	-	5,65	-
	48	1.932	24,3	537,94	-	6,97	-
	54	1.853	21,8	537,94	-	8,76	-
	60	1.794	19,6	537,94	-	11,06	-
	66	1.744	17,7	537,94	-	13,35	-
	72	1.704	16,0	537,94	-	15,59	-
	78	1.670	14,4	537,94	-	17,45	-
	84	1.638	13,0	537,94	-	20,39	-
87	1.612	12,3	268,77	-	20,60	-	
Total		1.688		7.799,93	-	4,62	-
T ₈	0	3.300	57,8	-	-	-	-
	3	2.982	53,3	-	2.093,34	-	6,58
	9	2.741	49,2	573,58	-	2,40	-
	15	2.565	45,7	573,58	-	3,25	-
	18	2.500	44,3	286,79	-	4,32	-
	24	2.352	40,8	-	2.084,88	-	14,09
	30	2.207	36,9	573,58	-	3,95	-
	36	2.082	33,1	573,58	-	4,57	-
	39	2.027	31,3	286,79	-	5,26	-
	45	1.942	28,3	-	1.995,45	-	23,48
	51	1.844	24,5	573,58	-	5,88	-
	57	1.765	21,1	573,58	-	7,30	-
	60	1.734	19,7	286,79	-	8,99	-
	66	1.694	17,8	-	2.927,79	-	73,19
	72	1.656	15,9	573,58	-	14,97	-
78	1.623	14,2	573,58	-	17,47	-	
81	1.599	13,5	286,79	-	20,65	-	
87	1.593	12,6	-	2.740,03	-	171,25	
****	12	-	-	-	enleirando	-	-
Total		1.707		5.735,80	11.841,49	3,36	6,94

PCI do carvão (27.302,6 kJ kg⁻¹)

Ao comparar os tratamentos T₁, T₃, T₅ e T₇, cujo sistema de secagem utilizado foi o Terreiro Híbrido 2, e os tratamentos T₂, T₄, T₆ e T₈, cujo sistema de secagem utilizado foi o Terreiro Híbrido 1, nos quais o produto utilizado foi o café cereja descascado para os tratamentos T₁, T₂, T₅ e T₆ e o café cereja lavado para os tratamentos T₃, T₄, T₇ e T₈, observa-se que o tratamento T₈ apresentou consumo específico de energia (193,44 MJ kg⁻¹) superior aos demais e que as maiores necessidades energéticas dos sistemas, por quilograma de água evaporada, ocorrem no final da secagem, quando a umidade do produto está próxima a 12 % b.u., umidade segura para o seu armazenamento (Tabela 7). Isso ocorreu, principalmente, por causa da temperatura média de secagem, de 38,1±1,9 °C, resultando em maior dificuldade na remoção da umidade. Pode-se também observar que o consumo específico de energia dos tratamentos que utilizaram o Terreiro Híbrido 1 foi superior aos tratamentos que utilizaram o Terreiro Híbrido 2.

Os valores do consumo total da energia do combustível (equação 24), da energia elétrica, da energia solar e do consumo total de energia (equação 26), da quantidade de água evaporada durante a secagem e do consumo específico de energia (equação 25), observados durante os doze tratamentos realizados, estão apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 – Resultados do consumo de energia, da massa de água evaporada e do consumo específico total de energia para os doze tratamentos realizados com os Terreiros Híbridos 1 e 2 e terreiro convencional

Tratamento (Nº)	Consumo de Energia				Massa de água evaporada na secagem (kg)	Consumo Específico Total de Energia (MJ kg ⁻¹)
	Combustível (MJ)	Elétrica (MJ)	Solar* (MJ)	Total (MJ)		
T ₁	6.143,08	358,02	-	6.501,08	905	7,18
T ₂	4.095,36	240,84	7.582,89	11.919,09	870	13,70
T ₃	7.519,09	429,62	-	7.948,71	1.648	4,82
T ₄	6.552,59	381,89	6.173,67	13.108,15	1.633	8,03
T ₅	4.980,03	453,49	-	5.433,52	959	5,66
T ₆	3.440,09	337,18	7.582,89	11.360,16	878	12,94
T ₇	7.107,76	692,17	-	7.794,39	1.688	4,62
T ₈	5.258,44	477,36	11.841,49	17.577,29	1.707	10,30
T ₉	-	-	10.007,10	10.007,10	697	14,36
T ₁₀	-	-	14.400,96	14.400,96	798	18,05
T ₁₁	-	-	18.423,58	18.423,58	1490	12,36
T ₁₂	-	-	20.451,07	20.451,07	1557	13,13

*Calculado de acordo com a irradiação solar global incidente no período de secagem

Na Figura 26 são apresentados os resultados referentes aos consumos de energia (combustível, elétrica e solar) utilizada durante a execução dos oito tratamentos de secagem nos Terreiros Híbridos 1 e 2 e na Figura 27, os dados referentes ao consumo específico total de energia dos oito tratamentos e das quatro testemunhas, para redução da umidade do café até a umidade adequada para o armazenamento.

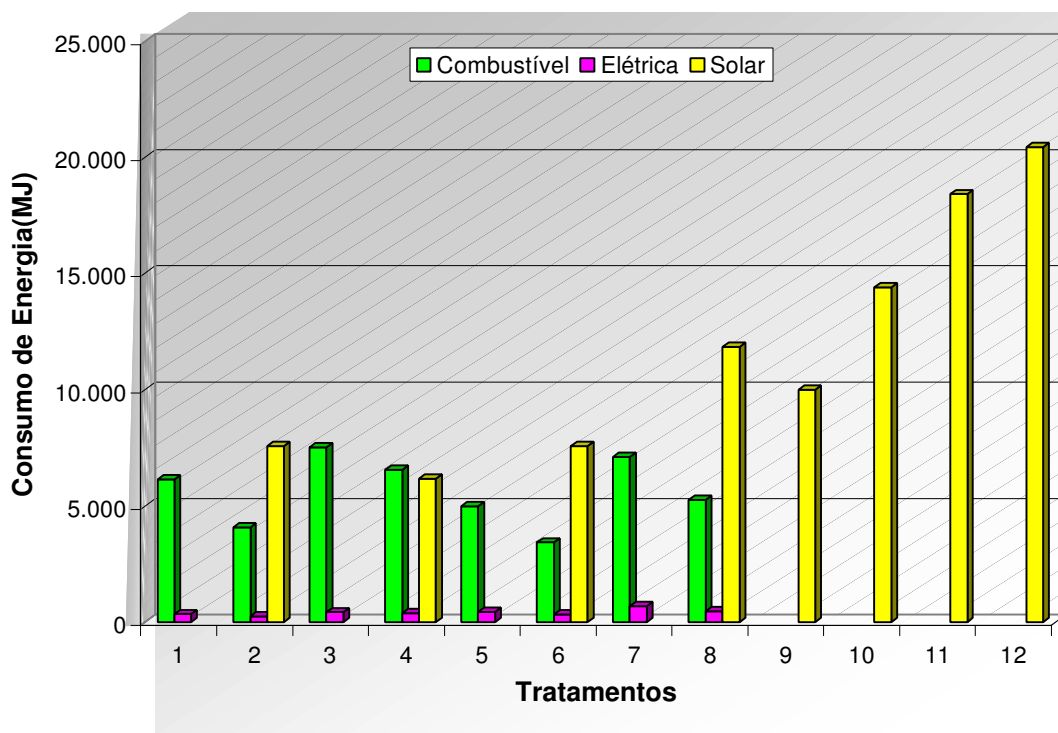


Figura 27 – Consumo de energia (combustível, elétrica e solar) nos tratamentos realizados nos Terreiros Híbridos 1 e 2 e nas testemunhas, realizadas em terreiro convencional.

Analisando os tratamentos T_1 , T_2 , T_3 e T_4 (Figura 27), observa-se que os consumos de combustível e de energia elétrica foram maiores nos tratamentos que não utilizaram energia solar, para o mesmo tipo de café, na temperatura média de $54,2 \pm 3,3$ °C. O mesmo comportamento foi observado nos tratamentos T_5 , T_6 , T_7 e T_8 , na temperatura média de $38,1 \pm 1,9$ °C. Ao comparar os tratamentos que utilizaram temperatura média de $38,1 \pm 1,9$ °C com os tratamentos que utilizaram temperatura média de $54,2 \pm 3,3$ °C, observa-se que o consumo de energia elétrica foi maior nos tratamentos que utilizaram temperatura média de $38,1 \pm 1,9$ °C; o mesmo não se pode dizer para o consumo de combustível, que foi maior nos tratamentos que utilizaram maior

temperatura. Isto se deve ao fato de que em temperaturas menores o tempo de secagem aumenta, exigindo maior tempo de funcionamento do ventilador e, obviamente, que uma maior temperatura do ar de secagem exige uma maior quantidade de energia para aquecer a mesma quantidade de ar.

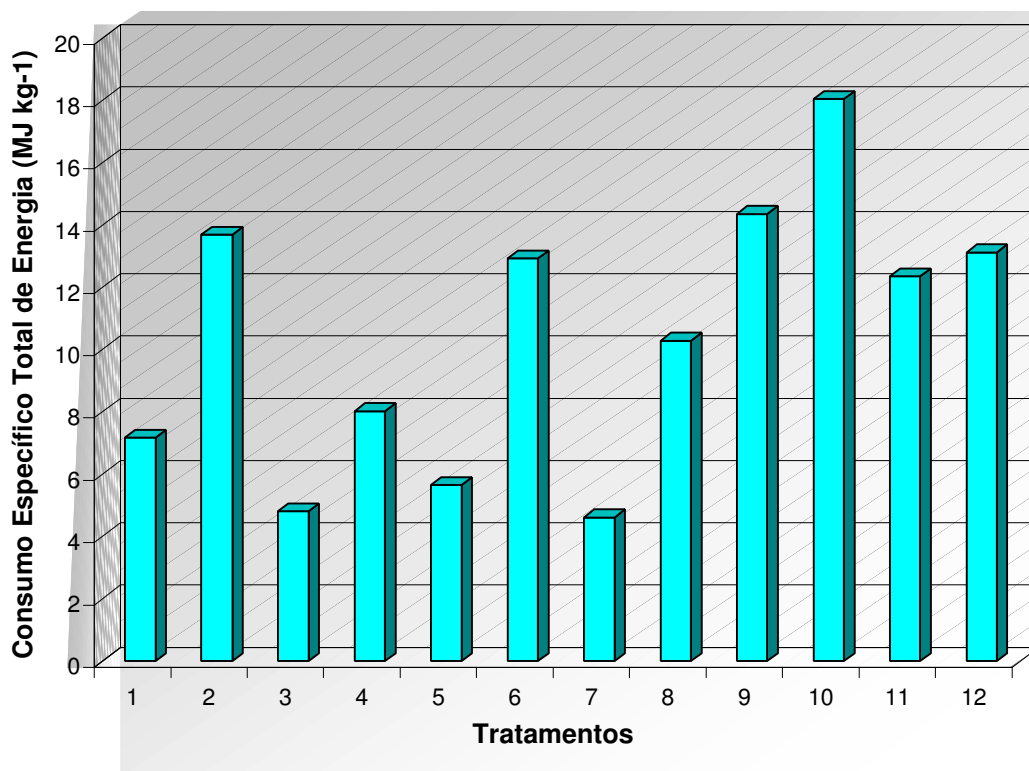


Figura 28 - Consumo específico de energia nos tratamentos realizados nos Terreiros Híbridos 1 e 2 e nas testemunhas, realizadas em terreiro convencional.

Com relação aos resultados da entalpia específica nos sistemas de secagem, apresentados na Figura 28, pode-se observar que a maior eficiência, isto é, a menor entalpia para evaporar uma unidade de massa de água dos grãos ocorreu nos tratamentos que utilizaram o sistema de secagem em Terreiro Híbrido 2, por apresentarem menor tempo de secagem e não utilizar energia solar, pois a secagem com a utilização de energia solar é mais demorada e, conseqüentemente, demanda uma grande quantidade de energia.

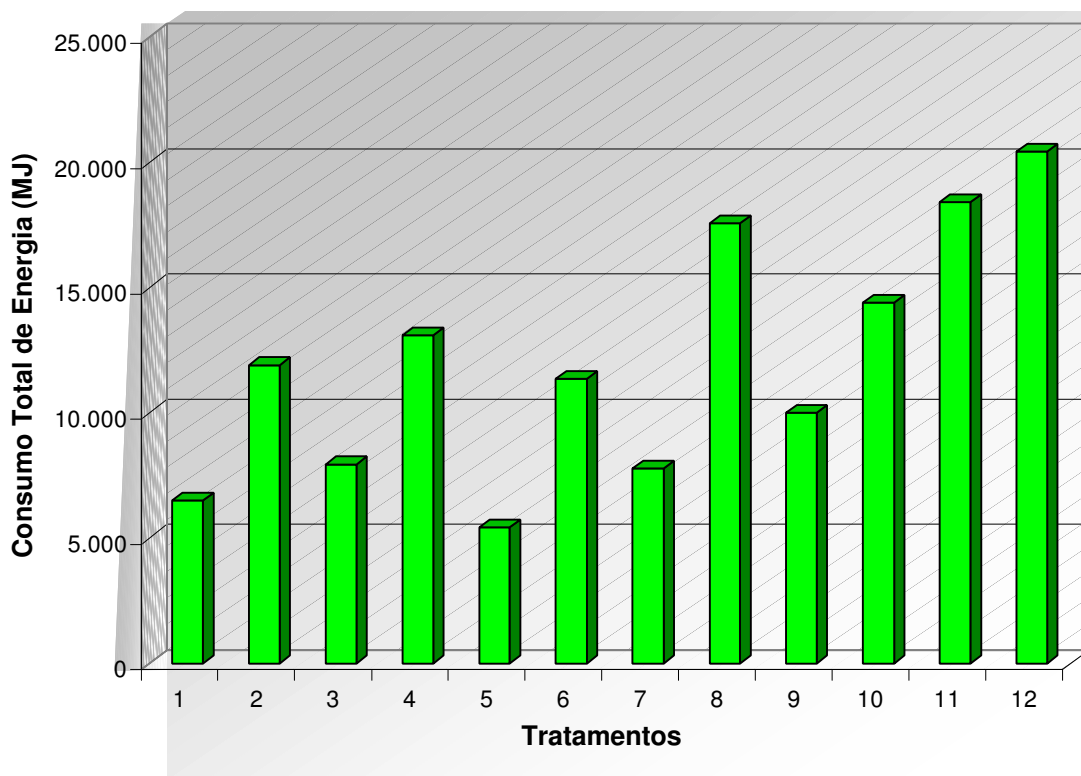


Figura 29 – Consumo total de energia nos tratamentos realizados em Terreiros Híbridos 1 e 2 e nas testemunhas, realizadas em terreiro convencional.

Já os maiores consumos médios de energia para secagem estão nos tratamentos que utilizaram o Terreiro Híbrido 1 e o terreiro convencional, com a utilização da energia solar (Figuras 28 e 29).

Observou-se eficiência nos Terreiros Híbridos 1 e 2 ao comparar os resultados do consumo específico de energia (Tabela 8) com os resultados encontrados por LACERDA FILHO (1986), quando utilizou-se o sistema de secagem de café cereja lavado em secador de camada fixa, constatando valores de $12,54 \text{ MJ kg}^{-1}$ para a entalpia específica; e comparando, também, com os resultados encontrados por CAMPOS (1998), que ao analisar um protótipo de secador de leito fixo composto por quatro câmaras de secagem, trabalhando com café despulpado, obteve valores de entalpia específica igual a $12,75 \text{ MJ kg}^{-1}$, excluindo-se a eletricidade, e $16,78 \text{ MJ kg}^{-1}$, quando considerou o uso da eletricidade para a temperatura de $43 \text{ }^\circ\text{C}$.

4.5. Classificação do produto

Amostras do produto, coletadas depois do término dos tratamentos, foram enviadas à INCOFEX ARMAZÉNS GERAIS LTDA, onde foram feitas as análises sensorial e de classificação do café, para avaliação da qualidade da bebida e das características dos grãos (Quadro 5).

Quadro 5 - Resultados dos testes de qualidade e características dos grãos obtidos no final dos processos de secagem

Tratamento	Bebida	Tipo	Cor	Aspecto
T ₁	Apenas Mole	4/5	Verde	Bom
T ₅	Apenas Mole	4/5	Verde	Bom
T ₉	Dura	6/7	Esverdeado	Bom
T ₂	Apenas Mole	4/5	Verde	Bom
T ₆	Apenas Mole	4/5	Verde	Bom
T ₁₀	Dura	6/7	Esverdeado	Bom
T ₃	Dura	5	Esverdeado	Bom
T ₇	Dura	5	Esverdeado	Bom
T ₁₁	Dura/Riada	6/7	Esverdeado	Bom
T ₄	Dura	5	Esverdeado	Bom
T ₈	Dura	5	Esverdeado	Bom
T ₁₂	Dura/Riada	6/7	Esverdeado	Bom

Pelos resultados, os grãos de café foram considerados de excelente qualidade para as condições de produção na região da Zona da Mata mineira, em se tratando de secagem em terreiro. Quanto aos resultados da bebida, pode-se dizer que estes não diferiram com a utilização dos sistemas de secagem nos Terreiros Híbridos 1 e 2, em relação a um mesmo tipo de café (cereja descascado e cereja). O mesmo não se pode dizer quando se compara os sistemas de secagem em Terreiros Híbridos 1 e 2 com o sistema de secagem em terreiro convencional. É bom salientar que o café é um dos poucos produtos cujo valor aumenta significativamente com a melhoria da

qualidade e que um produto de qualidade inferior pode sofrer redução no preço de até 40 % (CARVALHO e CHALFOUN 1985).

DEGRANDI (1999) também utilizou carvão vegetal como combustível para aquecimento do ar de secagem de café e verificou que este não influenciou a qualidade do produto, no que diz respeito à bebida.

Considerando que o tipo “4” é tido como padrão para exportação, pode-se dizer que, neste trabalho, o produto apresentou resultado satisfatório com os tipos “4/5 e 5” e a testemunha tipo “6/7”.

4.6. Manejo do café no terreiro

Quando o operador fez o revolvimento do café utilizando um rodo raspador-enleirador, observou-se que houve aumento da velocidade de secagem dos grãos até a meia seca. Como foi apresentado na metodologia, o café secava no terreiro em várias leiras, enquanto o sol incidente secava tanto os cafés das leiras quanto o piso do terreiro. Em cada revolvimento, o café foi esparramado em um piso seco e quente, evitando, assim, possíveis fermentações prejudiciais à qualidade final do produto. Para o café cereja lavado, esse processo exige menos esforço físico, quando comparado ao sistema tradicional, pois o operador não pisa sobre a camada de café e sim sobre o terreiro, evitando o descascamento dos frutos.

4.7. Comparação do custo de secagem de café em terreiros

Para comparar o custo de secagem de café em terreiros, utilizou-se a metodologia descrita no item 3.4.5, com os seguintes dados de entrada: uma lavoura com 30.000 plantas (10 litros por planta, 65 % cereja, 22 % de bóias, 8 % verdes e 5 % varrição), com tempo médio de colheita de 48 dias, custo médio de mão-de-obra de R\$ 1,25/h e preço de R\$ 120,00 por saca de café beneficiado (Quadro 6). Os resultados obtidos são apresentados no Quadro 7.

Quadro 6 – Dados para comparação de quatro sistemas de secagem de café

Parâmetros	Valores
Número de plantas, pés	30.000
Produção, litros/plantas	10
Porcentagem de café	
Cereja	65
Passas	22
Verdes	08
Varrição	05
Tempo de colheita, dias	48
Custo médio da mão-de-obra para preparo do café, R\$/hora	1,25
Preço da saca de café beneficiado (bebida fina)	120,00

Na análise dos resultados do Quadro 7, nos quatro sistemas de secagem, pode-se observar que, o custo de implantação do sistema de secagem completa no terreiro convencional para café cereja lavado foi de R\$53.707,81, de R\$30.690,85 para o Terreiro Híbrido 1, R\$26.915,60 para o Terreiro Híbrido 2 e R\$40.515,09 para a pré-secagem em terreiro convencional e secagem complementar em Terreiro Híbrido 2; portanto, o sistema de menor custo de implantação foi o Terreiro Híbrido 2. Neste sistema, o custo de mão-de-obra foi de R\$46,74 e o de energia foi de R\$68,97 por m³ de café beneficiado, o custo total da secagem foi de R\$30,50 e o preço médio de comercialização R\$104,76 por saca de café beneficiado.

O custo de implantação da secagem completa para o café cereja descascado no terreiro convencional foi de R\$36.454,87, de R\$31.226,02 para o Terreiro Híbrido 1, R\$25.100,65 para o Terreiro Híbrido 2 e R\$28.904,10 para a pré-secagem em terreiro convencional e secagem complementar em Terreiro Híbrido 2; portanto, o sistema de menor custo de implantação foi o Terreiro Híbrido 2. Neste sistema, o custo de mão-de-obra foi de R\$98,83 e o de energia foi de R\$46,76 por m³ de café beneficiado, o custo total da secagem foi de R\$27,06 e o preço médio de comercialização R\$110,39 por saca de café beneficiado.

Quadro 7 - Resultados de custos comparativos para quatro sistemas de secagem

Sistema de Secagem	Café	Mão-de-obra R\$/m ³ *	Energia R\$/m ³ *	Custo de implantação			Preço médio do café R\$/sc*	Custo total da secagem, R\$/sc*
				Secagem R\$	Armazenagem R\$	Equipamentos R\$		
Terreiro Convencional Secagem Completa	Cereja Lavado	71,01	0,09	37.757,81	11.250,00	4.700,00	104,76	32,03
	Cereja Descascado	63,64	0,78	15.684,42	7.600,45	13.170,00	107,10	25,67
T. Híbrido 1 Secagem Completa	Cereja Lavado	102,88	37,40	14.740,85	11.250,00	4.700,00	104,76	33,35
	Cereja Descascado	98,83	37,31	10.455,57	7.600,45	13.170,00	110,39	29,92
T. Híbrido 2 Secagem Completa	Cereja Lavado	46,74	68,97	10.965,60	11.250,00	4.700,00	104,76	30,50
	Cereja Descascado	98,83	46,76	4.330,20	7.600,45	13.170,00	110,39	27,06
Pré-secagem em T. Convencional Sec. Complementar T.Híbrido. 2	Cereja Lavado	82,69	65,69	24.565,09	11.250,00	4.700,00	104,76	36,00
	Cereja Descascado	126,25	61,79	8.133,65	7.600,45	13.170,00	107,10	34,73

* Café beneficiado

5. RESUMO E CONCLUSÕES

Com o objetivo de adaptar a tecnologia de secagem em terreiro para café cereja lavado e café cereja descascado, foi projetado, construído e avaliado um sistema de secagem denominado Terreiro Híbrido 1 e 2. O Terreiro Híbrido 1 o café foi espalhado às 9 horas e enleirado por volta das 15 horas sobre um duto de ar, com a utilização de energia solar e carvão vegetal para a secagem. O Terreiro Híbrido 2 foi utilizado para secagem do café na ausência de energia solar direta ou em período chuvoso; o café foi enleirado sobre um duto de ar onde se processou a secagem com carvão vegetal. Este processo se repetiu até que o café atingisse um valor de teor de água entre 11 e 12 % b.u., umidade segura para o armazenamento.

As temperaturas médias do ar de secagem foram de $54,2 \pm 3,3$ °C e $38,1 \pm 1,9$ °C. A vazão do ar de secagem foi de $40,2 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ e a vazão específica de $5,8 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$.

Para a avaliação da eficiência energética de secagem dos sistemas, foi calculada a entalpia específica nos Terreiros Híbridos 1 e 2, a partir do consumo de combustível na fornalha (carvão vegetal), do consumo de energia elétrica dos motores do ventilador e do consumo de energia solar.

Com base nos resultados obtidos nos tratamentos experimentais, concluiu-se que:

- quanto maior a umidade inicial do produto, menor o consumo específico de energia;

- o sistema de secagem no Terreiro Híbrido 2 foi energeticamente mais eficiente que os sistemas que utilizaram a energia solar (Terreiro Híbrido 1 e terreiro convencional);
- quanto maior o nível de tecnologia do processamento de café, menor o custo de implantação, menor o custo total de secagem e maior o preço médio do café comercializado por saca beneficiada;
- a capacidade nominal do secador e a taxa de secagem foram maiores quando se utilizou o sistema de secagem em Terreiro Híbrido 2 para um mesmo tipo de café (cereja descascado ou cereja).
- a secagem com a utilização dos Terreiros Híbridos 1 e 2 possibilitou a obtenção de um café de boa qualidade, superior à qualidade do café obtido no terreiro convencional (Testemunha);
- o uso de fornalha a fogo direto, com a utilização de carvão vegetal para o aquecimento do ar de secagem, não apresentou indícios de que o carvão tenha interferido na qualidade do produto, pois o carvão tem como vantagem ser uma fonte limpa de energia, que gera calor isento de incombustor durante a secagem;
- a fornalha a carvão, utilizada, apresentou como vantagens a queima contínua do combustível e a manutenção constante da temperatura do ar de secagem, sem a interferência do operador;
- a fornalha a carvão dispensa a presença constante do operador, permitindo-lhe exercer outras atividades paralelas durante o seu funcionamento;
- a equivalência, em área, observada experimentalmente, quando se comparou o Terreiro Híbrido com o tradicional, foi: 1:4,5 para secagem do café cereja descascado e 1;5,5 para secagem de café cereja lavado;
- para o mesmo sistema de secagem e tipo de café, a taxa de evaporação de água foi maior e o consumo de energia elétrica foi menor, na temperatura média de $54,2 \pm 3,3$ °C.
- dentre os tipos de café utilizados (cereja lavado e cereja descascado), o café cereja descascado foi o que apresentou menor custo de implantação do sistema.
- o custo de secagem completa do café cereja descascado, em Terreiro Híbrido 2, só foi maior do que o custo de secagem do terreiro convencional,

utilização em virtude da maior de mão-de-obra e do maior consumo de energia elétrica;

- o melhor preço médio por saca de café comercializado foi obtido com a secagem completa do café cereja descascado em Terreiros Híbridos 1 e 2.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, J.M. **Efeito da temperatura sobre rendimento e propriedades dos produtos da carbonização de *Eucalyptus grandis* W Hill ex Maiden.** Viçosa, MG: UFV, 1983. 40p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa, 1983.

ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO CAFÉ. Rio de Janeiro: Coffee Business, v.5, 1999/2000.

ARAÚJO, J.L.S. **Curso de classificação e degustação de café.** Brasília: MARA – PROCAFÉ, 1996. 64p.

BACHA, C.J.C. A cafeicultura brasileira nas décadas de 80 e 90 e suas perspectivas. **Preços Agrícolas: Mercado e Negócios Agropecuários**, São Paulo, v. 12, n. 142, p. 14-22, ago.1998.

BAKKER-ARKEMA, F.W., LEREW, L.E., BROOK, R.C., BROOKER, D.B. **Energy and capacity performance evaluation of grain dryers.** St. Joseph, Michigan, ASAE, 1978. 13p. (ASAE Paper, 78-3523).

BÁRTHOLO, G.F.; MAGALHÃES FILHO, A.A.R. DE; GUIMARÃES, P.T.G.; CHALFOUN, S.M. Cuidados na colheita, no preparo e no armazenamento do café. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.14, n.162, p.33-44, 1989.

BÁRTHOLO, G.F.; GUIMARÃES, P.T.G. Cuidados na colheita e preparo do café. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.18, n.187, p.33-42, 1997.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes** (RAS). Brasília, 1992. 365p.

BRINKWORTH, B.J., NUH, D.N. A novel thin-layer model for crop drying. **Transactions of the ASAE**, v. 40, n. 3, p. 659-669, 1997.

CAMPOS, A.T. **Desenvolvimento e análise de um protótipo de secador de camada fixa para café (*Coffea arabica* L.), com sistema de revolvimento mecânico**. Viçosa-MG: UFV, 1998. 61 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 1998.

CARNEIRO FILHO, F. Qual o café que o mercado quer? É a pergunta de alguns cafeicultores. In: Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, 22, 1996, Águas de Lindóia. **Resumos...** Rio de Janeiro: MAA/PROCAFÉ, 1996. p. 23-24.

CARVALHO, V.D. CHALFOUN, S.M. Aspectos qualitativos do café. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 11, n. 126, p. 79-92, 1985.

CARVALHO, V.D. de.; CHAGAS, S.J.R.; SOUZA, S.M.C. de. Fatores que afetam a qualidade do café. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.18, n.187, p.5-20, 1997.

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

CHALFOUN, S.M.; CARVALHO, V.D. de. **Colheita e preparo do café**. Lavras - MG, UFLA/FAEPE, 1997. 49p.

CHITARRA, M.I.F.; CHITARRA, A.B. Qualidade pós-colheita de frutos e hortaliças. In: **Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio**. Lavras -MG: ESAL/FAEPE, 1990. cap.8, p. 235-288.

CORDEIRO, J.A.B. **Influência da temperatura e do tempo de repouso na secagem de café (*Coffea arábica*, L.) em camadas fixas**. Viçosa - MG: UFV, 1982. 60 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 1982.

CORTEZ, J.G. Aplicações da espectroscopia fotoacústica na determinação da qualidade do café. **Cafeicultura Moderna**, Campinas, v.2, p.31 – 33, 1988.

COSTA, L.; CHAGAS, S.J.R. Gourmets – Uma alternativa para o mercado de café. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.18, n.187, p.63-67, 1997.

DALPASQUALE, V.A. Secagem de grãos com ar natural: uma opção pouco utilizada no Brasil. **Jornal da Armazenagem**, n.5, v.18, p.5-6, 1983.

DALPASQUALE, V.A. Tecnologia apropriada para secagem e armazenagem de grãos. **Jornal da Armazenagem**, n.6, v.19. p.7-8, 1984.

DEGRANDI, A.M. **Avaliação da eficiência de secagem de café (*Coffea arábica* L.), em secador de camada fixa vertical com revolvimento mecânico**. Viçosa – MG: UFV, 1999. 61p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 1999.

DORFMAN, E. **Pré-secagem de café em barcaça com utilização de energia solar**. Campinas – SP: UNICAMP, 1980. 95p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, 1980.

DOUGLAS, P.L., SULLIVAN, G.R., WHALEY, M.G. Control performance measures for grain drying processes. **Transactions ASAE**, v.35, n.4, p.1235-1241, 1992.

FAEMG. **Diagnóstico da cafeicultura em Minas Gerais**. Belo Horizonte, MG, FAEMG, 1996. 49p.

FREIRE, A.C. F.; MIGUEL, A.C. Rendimento e qualidade do café colhido nos diversos estádios de maturação em Varginha-MG. In: Congresso Brasileiro de Pesquisa Cafeeira, 12, 1985, Caxambu-MG. **Resumos...** Rio de Janeiro: MIC/IBC, 1985. p.210-214.

FREIRE, A.T. **Projeto e avaliação de um sistema de secagem combinada de café (*Coffea arabica* L.) despulpado**. Viçosa - MG: UFV, 1998. 98 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 1998.

GITIMU, C.W. Better coffee farming: coffee processing. **Kenya Coffee**, v.60, n.703, p.1997-1998, 1995.

GODINHO, R.P.; VILELA, E.R.; OLIVEIRA, G.A. Deterioração pós-colheita do café. In: Congresso Brasileiro de Pesquisa Cafeeira, 24, 1998, Poços de Caldas-MG. **Resumos...** Rio de Janeiro: IBC/GERCA, p. 128-129, 1998.

GUIMARÃES, A.C. **Secagem de café (*Coffea arabica* L.) combinando sistemas em altas e baixas temperaturas**. Viçosa – MG: UFV, 1995. 64p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 1995.

HAEBERLIN, I.B.; TEIXEIRA, E.C.; KAM-CHINGS, M.H.L. Análise do impacto do rompimento do acordo internacional do café sobre o Brasil e a Colômbia. **Revista Economia e Sociologia Rural**, Brasília, 31: p.9-22, 1993.

INSTITUTO BRASILEIRO DO CAFÉ – IBC-GERCA. **Cultura de café no Brasil: Manual de recomendações**. Instituto Brasileiro do Café/Grupo Executivo de Racionalização da Cafeicultura. 5.ed. Rio de Janeiro: IBC, 1985. 580 p.

INTERNATIONAL TRADE CENTRE UNCTAD/GATT. **The coffee trade: readings on production, processing and quality standards**. Geneva, 1992. 34p.

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

LEITE, C.A.M.; COSTA, F.A.; VALE, S.M.R. **Planejamento da empresa rural**. Custo de Administração Rural – Módulo 4. Brasília: ABEAS, 1996. 56P.

LELLES, J.G.; SILVA, J.C. **Energia da madeira**: roteiro para aulas práticas da disciplina energia da madeira. Viçosa, MG: UFV, Departamento de Engenharia Florestal, 1994. 56p.

MATIELLO, J.B. Manejo do cafezal. In: **O café: do cultivo ao consumo**. São Paulo: Globo, 1991. Cap.5, p.171-271 (Coleção do Agricultor-grãos).

MATIELLO, J.B. **Quentes como café**. Rio de Janeiro: MAA/PROCAFÉ, 1999. 185p.

MATIELLO, J.B.; STEVANATO, S.G.; ZATTAR, J.C.; TOLEDO, J.L.B. Caracterização de cafés preparados por despulpamento, na Zona da Mata de Minas Gerais. In: Congresso Brasileiro de Pesquisa Cafeeira, 1989, 15, Maringá-PR. **Resumos...** Rio de Janeiro: IBC/GERCA, p. 164-165, 1989.

MATOS, M.; ALMEIDA, M. R.; OLIVEIRA, L.T. Características dos produtos da carbonização da madeira. In: FUNDAÇÃO CENTRO DE TECNOLÓGICO DE

MINAS GERAIS – CETEC. **Gaseificação da madeira e carvão vegetal**. Belo Horizonte, 1981. p. 36-43. (Série de publicações técnicas. SPT-004).

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.

MENDES, M.G.; GOMES, P.A.; OLIVEIRA, J.B. 1982. **Propriedades e controle da qualidade do carvão vegetal**. Produção e utilização de carvão vegetal. Belo Horizonte, Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais-CETEC. p.77-89.

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

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

OCTAVIANI, J.C. **Secagem de café cereja descascado desmucilado com utilização de gás liquefeito de petróleo**. Campinas – SP: UNICAMP, 2000. 101p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, 2000.

OCTAVIANI, J.C.; PREVIERO, C.A.; BIAGI, J.D.; PÉREZ, I.G. Qualidade fisiológica de sementes de sete cultivares de café (*Coffea arabica* L.) em função dos processos de secagem natural e artificial. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Especial, Nº 2, p.28-31. 2001.

OLIVEROS TASCÓN, C.E. **Simulação de secagem de café em camada fixa com inversão de sentido de fluxo de ar**. Viçosa, MG: UFV, 1984. 64p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 1984.

ORGANIZACION INTERNACIONAL DEL CAFÉ. **El despulpado del café por médio de desmucilagadores mecanicas sin processo de fermentación y su efecto en la calidad de bebida de café producido en la región de Apucarana en el Estado de Paraná en Brasil.** Londres, 1992. n.p. (Reporte de Evaluación Sensorial).

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

PEREIRA, R.G.F.A. **Efeito da inclusão de grãos defeituosos na composição química e qualidade do café (*coffea arabica* L.) “estritamente mole”.** Lavras, MG: ESAL, 1997. 91p. Dissertação (Doutorado em Ciência de Alimentos) – Universidade Federal de Lavras, 1997.

PIMENTA, C.J.; VILELA, E.R. Qualidade do café (*Coffea arabica* L.), lavado e submetido à diferentes tempos de amontoa no terreiro. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Especial, Nº 2, p.03-10. 2001.

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

PINTO FILHO, G.L. **Desenvolvimento de um secador de fluxos cruzados com reversão do fluxo de ar de resfriamento, para a secagem de café (*Coffea arábica* L.).** Viçosa, MG: UFV, 1993. 72p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 1993.

PRETE, C.E.C.; ABRAHÃO, J.T.M.; BARCA, A.A.L. Efeito da temperatura de secagem de frutos de café colhidos nos estádios de maturação cereja e verde sobre a condutividade elétrica dos grãos. In: Congresso Brasileiro de Pesquisa Cafeeira , 1995, 21, Caxambu. **Resumo...** Rio de Janeiro: IBC/GERCA, p. 119-121, 1995.

QUILAQUEO, A.R.J. **Previsão da deterioração do café durante a pré-secagem em barcaças por convecção forçada com auxílio de coletores solares.** Campinas: UNICAMP, 1979. 90p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, 1979.

RENA, A.B.; MAESTRE, M. Fisiologia do cafeeiro. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.11, n.126, p.26-40, jun.1985.

REZENDE, R.C. **Modelo computacional aplicado a dimensionamento, simulação e análise econômica de unidades pré-processadoras de grãos.** Viçosa - MG: UFV, 1997. 103p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 1997.

RIBEIRO, M.T.F.; MEGAZZOMO, C.P.L. Cadeia agro-alimentar do café. In: **Desafios e potencialidades da agricultura no sul de minas: relatórios dos grupos de discussão.** Lavras: UFLA, 1998. p. 1-13.

RIBEIRO, M.T.F.; MEGAZZOMO, C.P.L.; DUARTE, L. H.; FENELON, A. N. Tradição e moderno se combinam na definição de uma nova trajetória em busca da competitividade: o caso da cadeia agroalimentar do café no sul de Minas Gerais. In: **Desafio e potencialidades da agricultura do sul de minas: diagnósticos para discussão.** Lavras: UFLA, 1998. p. 1-17.

RIGITANO, A., TOSELLO, A., SOUZA, O.F., GARRUTTI, R.S., JORGE, J.P.N. Influência da alta temperatura de secagem sobre a formação do gosto de óleo do café. **Bragantia**, v.22, n.66, p.799-805, 1963.

SABIONE, P.M. **Projeto e avaliação de um secador de fluxos cruzados, intermitente e com reversão do fluxo de ar, na secagem de milho (*Zea mays* L.).** Viçosa, MG, UFV, Imprensa Universitária, 1986. 101 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 1986.

SABIONE, P.M.; FARIA, M.N.; HARA, T. Determinador de umidade de grãos experimental – EDABO. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 14, 1984, Fortaleza-CE. **Anais...** Fortaleza: 1984. 62 p.

SAES, M.S.M.; FARINA, E.M.M.Q. **O agribusiness do café no Brasil**. São Paulo: Milkbizz, 1999. 230p.

SALAZAR-GUTIERREZ, M.R.; CHAVES-CÓRDOBA, B.; RIANO-HERRERA, N.M.; ARCILA-PULGARIN, J.; JARAMILLO-ROBREDO, A. Crecimiento del fruto de café *coffea arabica* L. var. Colombia. **Cenicafé**, Caldas, v.45, n.2, abr./jun. 1994, p. 41-50.

SAMPAIO, J.B.R.; AZEVEDO, L.A. Influência de grãos de café (*Coffea arábica* L.) secos no pé, em mistura com grãos maduros (cereja), sobre a qualidade do café. In: Congresso Brasileiro de Pesquisa Cafeeira, 15, 1989, Maringá-PR. **Resumos... IBC/GERCA**, 1989, p. 1-3.

SERRANO, R.C. **Tecnologia en beneficiado de café**. San José: Tecnicafé Internacional S.A., 1995. 176p.

SILVA, J.N. **Fontes alternativas de energia para a agricultura**: Pirólise de biomassa. Viçosa. MG: Departamento de Física, UFV, CEMIG, 1988. 62p. (Curso por Tutoria à distância. Curso Gestão de Recursos Hídricos, Módulo 2).

SILVA, J.S. Estado da arte da secagem e armazenagem de grãos, no Brasil. **Engenharia na Agricultura**. Série Armazenamento. v.3, n.1, Viçosa, MG, 1993. 17p.

SILVA, J.S., AFONSO, A. D. L., LACERDA FILHO, A. F. Secagem e armazenagem de Produtos Agrícolas. In: SILVA, J.S.(ed.) **Pré-Processamento de Produtos Agrícolas**. Juiz de Fora, Instituto Maria, 1995. 510p.

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

SILVA, J.S.; DONZELES, S.M.L.; LACERDA FILHO, A.F.; PRECCI, R.L.; MACHADO, M.C. e AFONSO, A.L.D. Manual de construção e manejo de terreiros para secagem de café. Viçosa – MG: UFV, DEA, 2000a. 28p.: il. (**Engenharia na Agricultura, Boletim Técnico; 1**).

SILVA, J.S.; DONZELES, S.M.L.; PRECCI, R.L. Planilha de custos de secagem e armazenagem. In: SILVA, J.S.(ed.) **Secagem e armazenagem do café: tecnologia e custos** Viçosa, Editora Jard., 2001. 162p.

SILVA, J.S.; PRECCI, R.L.; MACHADO, M.C. Fornalha a carvão para secagem de produtos agrícolas. Viçosa – MG: UFV, DEA, 2000b. 25p.: il. (**Engenharia na Agricultura, Boletim Técnico; 2**).

SILVA, J.S.; PRECCI, R.L.; DONZELES, S.M.L.; MACHADO, M.C. Custo e gerenciamento da secagem de café em sistemas combinados. In: ZAMBOLIM, L.(ed.) **Tecnologias de produção de café com qualidade**. Viçosa: UFV, Departamento de Fitopatologia, 2001. 648p.

SILVA, J.S., RUFFATO, S., PRECCI, R.L. Gerenciamento da secagem de café em sistemas combinados. In: ZAMBOLIM, L.(ed.) **Café: produtividade, qualidade e sustentabilidade**. Viçosa: UFV, Departamento de Fitopatologia, 2000c. 396p.

SILVA, J.S., SABIONE, P.M., AFONSO, A.D.L., PINTO, F.A.C. Avaliação de secadores e custo de secagem de produtos agrícolas. **Engenharia na Agricultura**. Série Armazenamento, v.2, n.2, p.1-17, 1992.

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

SILVEIRA, S.F.R., SILVA, J.S., PINTO, F.A.C., RESENDE, R.C. Composição de custo de secagem. In: SILVA, J.S.(ed.) **Secagem e Armazenagem de Produtos Agrícolas**. Viçosa, Editora Aprenda Fácil, 2000. 502p.

SMITH, A.W. Introduction. In: CLARKE, R.J. & MACRAE, R., eds, **Coffee**, v.1, Chemistry, Elsevier Applied Science, London. 1985. p.1-41.

SOUZA, S.M.C. de. **O café (*Coffea arabica* L.) na região Sul de Minas Gerais: relação da qualidade com fatores ambientais, estruturais e tecnológicos.** Lavras: UFLA, 1996. 171p. Dissertação (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, 1996.

SOUZA, S.M.C. de.; CARVALHO, V.L. de. Efeito de microorganismos na qualidade da bebida de café. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.18, n. 187, p.21-26, 1997.

TAGLILEGNA, G.H.F.; FAVARIN, J.L. Análise comparativa dos custos de vários métodos de preparo, secagem e beneficiamento de café., In: Congresso Brasileiro de Pesquisa Cafeeira, 24, 1998, Poços de Caldas – MG. **Resumos...** Rio de Janeiro: IBC/GERCA/EMBRAPA, 1998. p.137-139.

TEIXEIRA, A.A. Observações sobre várias características do café colhido verde e maduro. In: Congresso Brasileiro de Pesquisa Cafeeira, 11, 1984, Londrina - PR. **Resumos...** Rio de Janeiro: IBC/GERCA/EMBRAPA, 1984. p.227-228.
de café beneficiado

TEIXEIRA, R.A.F., SANTINATO, R. Tempo médio de café nas regiões cafeeiras da Zona da Mata, Rio Doce, Mucurí de Minas Gerais. In: Congresso Brasileiro de Pesquisa Cafeeira, 3, 1975, Curitiba – PR. **Resumos...** Rio de Janeiro: IBC/GERCA/EMBRAPA, 1975. p.259-261.

THOMAZIELLO, R.A.; OLIVEIRA, E.G. de.; TOLEDO F.O, J.A. de. **Cultura do café.** Campinas, Fundação Cargill, 1996. 69p.

THOMPSON, T.L.; PEAR, R.M.; FOSTER, G.H. Mathematical simulation of corn drying - A new model. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.11,n.4, p.582-586, 1968.

VASCONCELOS, L.M., GROTH, D., RAZERA, L.F. Efeito de processos de secagem, diferentes graus de umidade e tipos de embalagens na conservação de sementes de café (*Coffea arabica* L.). **Revista Brasileira de Sementes**, v.14, n.2, p.181-188, 1992.

VELLA, M.M.C.F. **Influência da velocidade de carbonização da madeira nos rendimentos e nas propriedades do carvão produzido.** Viçosa, MG: UFV, 1989. 53p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, 1989.

VILELA, E.R. **Secagem de café em terreiro e silo com energia solar.** Campinas, SP: UNICAMP, 1977a. 107p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, 2000.

VILELA, E.R. Secagem e qualidade do café. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.1, n.187, p.63-67, 1997b.

WENZL, H.F.J. The chemical technology of wood. New York: Academic Press, 1970. 692p.

APÉNDICE

Tabela 1A – Temperaturas médias do ar de secagem e da massa de grãos nos pontos P₁ e P₂, a 0,10 m do duto de aeração e a 0,20 m nos pontos P₃ e P₄, localizados a 5 e 10 m ao longo do duto, durante a secagem de café cereja descascado no Terreiro Híbrido 2, para o tratamento T₁.

Tempo (h)	Ar de Secagem (°C)	Ponto 1 (°C)	Ponto 2 (°C)	Ponto 3 (°C)	Ponto 4 (°C)
3	46,3	30,7	27,6	20,2	18,8
6	49,1	35,2	32,4	24,0	22,7
9	51,7	38,8	36,8	26,1	24,4
12	50,5	37,6	35,8	25,4	23,8
15	52,3	39,1	37,6	28,7	25,4
18	53,4	41,2	39,9	30,7	27,7
21	52,9	40,0	38,1	29,8	26,4
24	53,2	40,9	38,9	31,6	29,3
27	54,0	42,7	40,9	32,5	30,4
30	55,0	43,8	41,7	34,0	32,8
33	54,7	45,8	43,9	33,5	31,7
36	55,2	46,9	44,9	36,9	35,5
39	55,8	48,0	46,1	37,9	36,4
42	56,9	48,4	47,2	40,7	39,3
45	57,7	49,9	48,8	43,1	41,8

Tabela 2A – Temperaturas médias do ar de secagem e da massa de grãos nos pontos P₁ e P₂, a 0,10 m do duto de aeração e a 0,20 m nos pontos P₃ e P₄, localizados a 5 e 10 m ao longo do duto, durante a secagem de café cereja descascado no Terreiro Híbrido 1, para o tratamento T₂.

Tempo (h)	Ar de Secagem (°C)	Ponto 1 (°C)	Ponto 2 (°C)	Ponto 3 (°C)	Ponto 4 (°C)
0	48,4	31,2	28,8	19,3	18,3
3	52,4	35,6	32,1	24,4	23,8
6	52,0	35,4	32,8	24,2	23,7
9	54,7	36,1	34,7	28,9	27,6
12	54,9	39,3	37,2	29,1	27,9
15	54,8	40,9	38,5	30,0	28,4
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
0	51,0	39,3	37,8	27,2	25,2
3	55,0	43,9	41,6	34,5	32,1
6	56,3	46,7	45,5	37,7	36,7
9	57,7	47,1	45,9	38,6	37,4
12	58,9	49,0	48,0	43,1	41,8
15	58,4	49,8	48,1	43,7	42,3

Tabela 3A – Temperaturas médias do ar de secagem e da massa de grãos nos pontos P₁ e P₂, a 0,10 m do duto de aeração e a 0,20 m nos pontos P₃ e P₄, localizados a 5 e 10 m ao longo do duto, durante a secagem de café cereja no Terreiro Híbrido 2, para o tratamento T₃.

Tempo (h)	Ar de Secagem (°C)	Ponto 1 (°C)	Ponto 2 (°C)	Ponto 3 (°C)	Ponto 4 (°C)
0					
3	47,2	33,8	29,4	22,0	20,0
6	50,3	37,7	35,4	24,0	21,0
9	51,7	40,8	37,6	26,1	24,5
12	50,2	37,1	36,0	28,7	26,5
15	50,1	38,0	36,6	29,6	27,5
18	51,0	40,2	39,8	29,4	28,1
21	56,2	41,2	40,0	31,9	30,3
24	57,5	43,0	41,6	32,0	30,9
27	55,3	43,8	42,7	32,3	31,1
30	54,2	43,6	41,9	31,5	30,8
33	56,0	45,6	43,5	37,4	35,3
36	55,3	45,3	43,1	37,1	34,8
39	54,9	44,8	42,5	36,6	34,1
42	56,2	47,8	46,7	38,6	37,0
45	52,9	46,8	44,2	37,3	35,6
48	57,2	53,5	50,5	41,9	39,8
51	58,1	55,8	54,2	44,4	42,1
54	59,0	56,6	55,6	48,1	46,2

Tabela 4A – Temperaturas médias do ar de secagem e da massa de grãos nos pontos P₁ e P₂, a 0,10 m do duto de aeração e a 0,20 m nos pontos P₃ e P₄, localizados a 5 e 10 m ao longo do duto, durante a secagem de café cereja no Terreiro Híbrido 1, para o tratamento T₄.

Tempo (h)	Ar de Secagem (°C)	Ponto 1 (°C)	Ponto 2 (°C)	Ponto 3 (°C)	Ponto 4 (°C)
0	52,8	35,2	32,2	24,4	21,7
3	53,2	35,8	32,8	24,8	22,0
6	53,3	36,8	33,1	25,1	23,3
9	53,3	36,9	33,5	26,3	23,6
12	55,6	39,7	37,4	29,1	26,7
15	54,8	38,6	36,1	28,2	25,7
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
0	54,5	38,9	36,0	28,5	25,0
3	55,4	39,4	36,6	29,4	25,6
6	55,7	39,6	36,0	29,7	26,5
9	55,5	40,4	37,6	30,5	27,0
12	56,3	41,0	38,8	31,0	27,6
15	56,6	42,0	39,4	32,8	29,1
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
0	54,2	41,1	38,8	31,8	29,0
3	54,6	43,3	39,0	33,7	30,7
6	54,9	44,1	41,4	36,7	35,0
9	55,7	49,5	46,6	40,4	37,0
12	55,5	52,2	50,6	45,8	41,2
15	56,9	54,2	52,0	47,1	44,1
18	57,5	54,3	52,9	49,1	46,2

Tabela 5A – Temperaturas médias do ar de secagem e da massa de grãos nos pontos P₁ e P₂, a 0,10 m do duto de aeração e a 0,20 m nos pontos P₃ e P₄, localizados a 5 e 10 m ao longo do duto, durante a secagem de café cereja descascado no Terreiro Híbrido 2, para o tratamento T₅.

Tempo (h)	Ar de Secagem (°C)	Ponto 1 (°C)	Ponto 2 (°C)	Ponto 3 (°C)	Ponto 4 (°C)
3	33,5	22,9	21,8	16,8	14,5
6	35,6	23,3	22,3	17,9	15,8
9	36,2	23,0	21,9	18,4	16,8
12	36,6	25,3	24,2	20,4	19,3
15	37,9	29,3	27,8	23,6	21,8
18	38,1	28,0	26,5	22,3	21,3
21	38,5	27,2	25,9	21,7	19,8
24	38,5	26,9	25,5	21,2	19,9
27	38,6	24,8	22,4	19,8	18,3
30	38,9	28,5	26,7	23,1	21,3
33	39,0	27,3	25,8	22,8	21,0
36	39,3	28,0	26,5	23,2	21,7
39	39,9	28,6	27,4	23,8	22,2
42	40,0	27,1	25,7	22,1	20,8
45	40,3	29,9	27,3	22,4	20,4
48	40,5	32,1	30,4	25,3	24,1
51	40,6	35,8	33,9	28,5	27,2
54	40,7	35,6	33,6	28,8	26,8
57	40,6	35,7	33,7	31,7	30,2

Tabela 6A – Temperaturas médias do ar de secagem e da massa de grãos nos pontos P₁ e P₂, a 0,10 m do duto de aeração e a 0,20 m nos pontos P₃ e P₄, localizados a 5 e 10 m ao longo do duto, durante a secagem de café cereja descascado no Terreiro Híbrido 1, para o tratamento T₆.

Tempo (h)	Ar de Secagem (°C)	Ponto 1 (°C)	Ponto 2 (°C)	Ponto 3 (°C)	Ponto 4 (°C)
0	33,3	24,4	22,9	17,3	15,7
3	36,2	27,3	25,0	20,8	18,1
6	38,8	26,3	24,7	19,1	17,8
9	38,4	27,6	25,1	20,3	18,3
12	40,4	29,4	27,3	22,7	20,9
15	40,7	30,6	28,8	23,5	21,4
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
0	36,0	25,3	23,7	19,5	17,5
3	37,8	28,6	27,0	23,1	21,3
6	38,0	28,8	27,2	23,7	22,1
9	39,6	31,6	28,3	26,4	24,6
12	38,9	29,7	27,6	24,9	23,1
15	39,7	31,5	28,9	26,4	24,8
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
0	39,7	31,7	29,9	24,7	22,3
3	41,0	33,8	32,8	27,3	25,6
6	41,2	32,9	31,9	27,8	26,7
9	40,5	35,3	33,1	30,9	29,5
12	41,2	36,3	34,8	31,2	30,1

Tabela 7A – Temperaturas médias do ar de secagem e da massa de grãos nos pontos P₁ e P₂, a 0,10 m do duto de aeração e a 0,20 m nos pontos P₃ e P₄, localizados a 5 e 10 m ao longo do duto, durante a secagem de café cereja no Terreiro Híbrido 2, para o tratamento T₇.

Tempo (h)	Ar de Secagem (°C)	Ponto 1 (°C)	Ponto 2 (°C)	Ponto 3 (°C)	Ponto 4 (°C)
3	34,4	23,1	21,8	15,7	13,9
6	38,0	26,4	24,2	16,7	14,5
9	35,6	24,3	22,5	15,6	14,0
12	35,3	24,7	22,8	17,3	15,7
15	36,7	25,6	23,9	17,9	15,8
18	37,0	25,9	24,1	18,2	16,4
21	36,2	27,2	25,4	19,1	17,2
24	38,8	29,0	27,3	21,1	19,8
27	38,0	28,4	26,9	20,8	18,7
30	36,5	26,9	25,1	20,1	18,2
33	36,1	26,3	25,4	19,8	17,5
36	36,8	26,5	25,1	19,9	17,8
39	37,4	28,2	26,5	20,3	18,8
42	37,5	28,1	26,4	20,3	18,5
45	38,8	29,3	26,9	21,4	19,7
48	38,4	29,1	27,1	21,7	19,8
51	35,8	27,8	26,2	20,3	18,6
54	36,1	27,9	26,4	20,5	18,8
57	37,1	29,2	27,5	23,9	21,6
60	37,7	29,4	27,7	23,3	21,4
63	38,4	30,1	28,5	24,8	23,4
66	37,1	29,9	28,3	24,5	23,1
69	38,2	30,9	28,7	25,1	23,5
72	37,2	31,5	29,7	25,9	23,8
75	39,8	32,8	31,5	26,5	24,7
78	39,9	33,3	32,1	26,7	25,1
81	39,0	32,9	31,5	26,3	24,9
84	40,1	34,9	33,1	28,9	27,3
87	40,9	35,6	33,5	29,7	27,9

Tabela 8A – Temperaturas médias do ar de secagem e da massa de grãos nos pontos P₁ e P₂, a 0,10 m do duto de aeração e a 0,20 m nos pontos P₃ e P₄, localizados a 5 e 10 m ao longo do duto, durante a secagem de café cereja no Terreiro Híbrido 1, para o tratamento T₈.

Tempo (h)	Ar de Secagem (°C)	Ponto 1 (°C)	Ponto 2 (°C)	Ponto 3 (°C)	Ponto 4 (°C)
0	34,9	24,4	22,7	15,2	13,8
3	35,3	25,0	23,8	15,5	14,0
6	36,2	25,5	24,1	15,9	14,3
9	35,9	25,2	24,0	16,1	14,8
12	36,9	25,6	24,4	16,7	15,2
15	37,2	27,3	25,7	18,2	16,6
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
18	36,8	25,9	24,0	17,2	15,6
21	37,4	28,1	26,5	19,4	17,6
24	37,6	28,2	27,1	19,8	17,7
27	37,7	28,5	27,3	20,2	18,5
30	38,0	29,4	27,9	22,3	20,5
33	37,9	30,3	28,8	23,5	21,9
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
36	37,8	31,9	30,0	24,6	22,8
39	38,0	32,8	31,5	25,2	23,5
42	38,3	33,2	31,9	26,1	24,4
45	38,3	35,1	33,8	28,9	27,3
48	38,4	33,8	32,4	28,4	27,1
51	38,9	34,9	33,5	28,6	27,5
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
54	36,6	29,7	27,7	24,3	22,5
57	36,9	30,8	28,9	25,6	23,8
60	37,1	31,9	30,2	26,2	24,9
63	37,5	32,5	30,9	26,8	25,2
66	37,5	32,9	30,7	27,5	25,8

Tabela 9A – Temperatura e umidade relativa do ar de exaustão, durante os tratamentos T₁, T₂, T₃ e T₄

Tempo (h)	TEMPERATURA DO AR DE EXAUSTÃO				UMIDADE RELATIVA DE EXAUSTÃO			
	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	UR1. (%)	UR2. (%)	UR3 (%)	UR4 (%)
0	-	-	-	-	-	-	-	-
3	26,3	-	23,4	-	87	-	98	-
6	27,4	-	25,4	26,9	82	-	94	98
9	28,8	26,7	25,0	27,9	77	91	92	97
12	28,4	29,0	25,6	28,1	78	86	93	94
15	30,0	28,9	26,0	27,8	72	80	90	93
18	31,2	31,4	26,5	29,0	68	74	85	90
21	33,1	33,0	27,1	29,2	60	66	88	89
24	34,3	35,6	28,3	-	57	58	82	-
27	36,7	-	29,5	-	48	-	76	-
30	35,8	-	31,5	29,1	52	-	71	86
33	39,2	33,5	31,0	30,1	40	60	73	81
36	40,3	36,6	32,3	30,5	37	53	66	76
39	38,6	38,6	33,6	30,2	43	48	62	75
42	40,8	40,9	33,1	31,0	39	42	64	72
45	44,1	43,5	32,8	33,4	32	35	58	66
48	-	46,0	35,6	-	-	29	50	-
51	-	-	39,4	-	-	-	42	-
54	-	-	43,9	33,9	-	-	34	61
57	-	-	-	35,1	-	-	-	55
60	-	-	-	34,8	-	-	-	53
63	-	-	-	36,0	-	-	-	47
66	-	-	-	36,8	-	-	-	42
69	-	-	-	39,0	-	-	-	36
72	-	-	-	37,8	-	-	-	32

Tabela 10A – Temperatura e umidade relativa do ar de exaustão, durante os tratamentos T₅, T₆, T₇ e T₈

Tempo (h)	TEMPERATURA DO AR DE EXAUSTÃO				UMIDADE RELATIVA DE EXAUSTÃO			
	T5 (°C)	T6 (°C)	T7 (°C)	T8 (°C)	UR5 (%)	UR6 (%)	UR7 (%)	UR8 (%)
3	22,8	-	19,5	-	85	-	98	-
6	23,3	-	21,7	21,8	83	-	96	100
9	23,8	23,9	20,1	23,2	80	80	93	97
12	24,4	25,8	21,7	23,1	77	78	90	98
15	25,6	26,7	22,7	22,4	73	76	85	99
18	25,5	26,7	23,2	23,5	75	75	78	94
21	26,6	27,5	23,3	24,1	72	74	73	93
24	27,7	29,3	23,4	-	68	70	77	-
27	28,0	-	24,9	-	66	-	73	-
30	29,1	-	25,7	23,7	60	-	75	90
33	30,2	27,2	24,1	25,1	55	66	80	82
36	31,3	29,6	25,0	24,7	50	62	77	80
39	32,2	30,6	26,2	23,7	47	59	75	84
42	34,0	32,3	26,5	24,8	45	54	70	78
45	34,7	32,2	26,5	27,0	43	52	68	72
48	34,2	33,5	26,5	-	44	48	65	-
51	34,9	-	27,4	-	41	-	62	-
54	34,7	-	30,1	27,4	38	-	57	70
57	35,6	35,9	29,9	28,5	34	44	53	63
60	-	36,9	30,6	27,2	-	42	58	65
63	-	37,1	32,9	27,6	-	39	48	59
66	-	34,1	32,1	27,7	-	41	48	55
69	-	35,3	31,0	27,5	-	39	50	56
72	-	-	31,9	-	-	-	46	-
75	-	-	34,3	-	-	-	42	-
78	-	-	32,1	23,9	-	-	53	50
81	-	-	33,2	26,4	-	-	48	42
84	-	-	33,5	25,5	-	-	47	46
87	-	-	34,9	26,9	-	-	40	40
90	-	-	-	28,3	-	-	-	34
93	-	-	-	30,6	-	-	-	30

Tabela 11A – Temperatura e umidade relativa do ar ambiente, durante os tratamentos T₁, T₂, T₃ e T₄

Tempo (h)	TEMPERATURA DO AR AMBIENTE				UMIDADE RELATIVA AR AMBIENTE			
	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	UR1. (%)	UR2. (%)	UR3 (%)	UR4 (%)
3	16,5	26,3	12,2	25,7	87	58	87	47
6	15,3	30,0	25,1	24,4	89	43	44	57
9	14,6	29,0	29,3	18,5	91	43	28	92
12	13,9	21,2	26,0	17,0	96	75	42	98
15	13,8	17,9	15,7	15,9	98	90	79	99
18	14,7	16,8	11,9	16,2	95	96	92	99
21	17,0	16,8	10,2	17,7	87	96	97	94
24	17,7	20,4	9,5	22,7	88	86	99	70
27	16,6	28,7	13,9	25,1	93	54	89	57
30	16,2	31,4	22,7	24,2	94	38	63	58
33	16,1	28,6	25,4	17,4	94	45	49	89
36	15,9	22,7	24,3	14,5	94	72	54	98
39	15,8	22,4	18,8	13,3	96	76	82	99
42	17,2	23,4	15,3	13,6	95	72	96	99
45	19,8	22,2	13,4	16,8	84	75	98	95
48	-	22,4	12,3	21,7	-	74	99	72
51	-	25,2	16,2	26,0	-	62	91	50
54	-	29,3	26,6	23,3	-	48	57	64
57	-	-	-	17,1	-	-	-	91
60	-	-	-	14,1	-	-	-	97
63	-	-	-	12,4	-	-	-	99
66	-	-	-	10,8	-	-	-	99
69	-	-	-	11,9	-	-	-	90
72	-	-	-	16,0	-	-	-	39

Tabela 12A – Temperatura e umidade relativa do ar ambiente, durante os tratamentos T₅, T₆, T₇ e T₈

Tempo (h)	TEMPERATURA DO AR AMBIENTE				UMIDADE RELATIVA AR AMBIENTE			
	T5 (°C)	T6 (°C)	T7 (°C)	T8 (°C)	UR5 (%)	UR6 (%)	UR7 (%)	UR8 (%)
3	16,5	26,3	12,2	25,7	87	58	87	47
6	15,3	30,0	25,1	24,4	89	43	44	57
9	14,6	29,0	29,3	18,5	91	43	28	92
12	13,9	21,2	26,0	17,0	96	75	42	98
15	13,8	17,9	15,7	15,9	98	90	79	99
18	14,7	16,8	11,9	16,2	95	96	92	99
21	17,0	16,8	10,2	17,7	87	96	97	94
24	17,7	20,4	9,5	22,7	88	86	99	70
27	16,6	28,7	13,9	25,1	93	54	89	57
30	16,2	31,4	22,7	24,2	94	38	63	58
33	16,1	28,6	25,4	17,4	94	45	49	89
36	15,9	22,7	24,3	14,5	94	72	54	98
39	15,8	22,4	18,8	13,3	96	76	82	99
42	17,2	23,4	15,3	13,6	95	72	96	99
45	19,8	22,2	13,4	16,8	84	75	98	95
48	21,3	22,4	12,3	21,7	74	74	99	72
51	18,6	25,2	16,2	26,0	86	62	91	50
54	14,4	29,3	26,6	23,3	99	48	57	64
57	13,8	27,2	30,5	17,1	99	63	-	91
60	-	23,7	27,7	14,1	-	78	-	97
63	-	19,6	20,1	12,4	-	93	-	99
66	-	16,5	18,3	10,8	-	92	-	99
69	-	16,0	15,5	11,9	-	97	-	90
72	-	-	15,8	16,0	-	-	-	39
75	-	-	17,8	18,4	-	-	-	22
78	-	-	21,2	16,3	-	-	-	31
81	-	-	25,5	10,1	-	-	-	56
84	-	-	23,2	8,4	-	-	-	62
87	-	-	19,3	7,1	-	-	-	65
90	-	-	-	6,3	-	-	-	66
93	-	-	-	12,0	-	-	-	53
96	-	-	-	16,2	-	-	-	35
99	-	-	-	17,7	-	-	-	25

Tabela 13A – Temperatura e umidade relativa do ar ambiente média diária medida das 9 às 15h, durante as testemunhas, T₉, T₁₀, T₁₁ e T₁₂

Tempo (dias)	TEMPERATURA DO AR AMBIENTE				UMIDADE RELATIVA AR AMBIENTE			
	TC9 (°C)	TC10 (°C)	TC11 (°C)	TC12 (°C)	UR9 (%)	UR10 (%)	UR11 (%)	UR12 (%)
1	17,4	27,5	17,1	9,5	86	53	70	85
2	15,0	29,3	17,0	13,7	94	49	79	88
3	17,5	27,4	20,1	16,0	93	55	77	82
4	17,7	17,9	20,2	15,1	84	94	82	86
5	16,0	21,9	14,5	19,6	82	77	73	83
6	12,8	22,7	12,8	20,7	83	76	77	78
7	12,7	22,8	19,9	17,4	80	73	57	86
8	13,5	19,5	20,9	15,0	78	94	54	94
9	14,9	20,0	24,9	17,5	78	95	44	93
10	16,1	-	23,1	17,7	87	-	60	84
11	-	-	22,8	16,0	-	-	61	82
12	-	-	23,2	12,8	-	-	67	83
13	-	-	23,1	12,7	-	-	65	80
14	-	-	24,5	13,5	-	-	53	78
15	-	-	24,3	14,9	-	-	51	78

Tabela 14A – Variação da umidade do café em função do tempo de secagem, durante os tratamentos T₁, T₂, T₃, T₄, T₅, T₆, T₇ e T₈

Tempo (h)	UMIDADE DO CAFÉ (% b.u.)							
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
0	38,7	37,0	56,1	56,3	40,5	37,9	57,5	57,8
3	35,2	34,1	52,3	53,0	37,4	35,1	55,0	54,4
6	33,4	30,5	48,5	53,0	35,8	32,0	52,1	54,4
9	30,5	30,5	45,1	49,4	33,5	32,0	49,3	51,5
12	28,5	28,0	42,0	45,7	31,3	31,1	47,5	49,3
15	26,1	26,4	39,2	42,5	29,0	29,2	46,1	47,7
18	24,5	24,2	35,9	39,7	26,9	27,7	45,1	46,3
21	22,3	23,3	33,0	36,6	25,5	26,0	43,0	45,4
24	20,5	20,9	30,2	34,7	24,0	24,0	40,7	42,8
27	18,5	19,5	27,8	32,6	22,7	22,8	38,4	40,9
30	17,2	18,1	25,1	32,6	20,8	21,0	36,7	40,9
33	15,6	18,1	23,1	30,0	19,5	21,0	34,4	38,8
36	14,0	16,2	20,8	27,4	18,5	19,4	32,3	37,0
39	13,0	15,7	18,0	25,0	17,0	18,1	31,3	35,7
42	12,7	15,3	16,8	22,3	15,8	17,3	29,6	33,3
45	12,2	14,3	15,3	20,2	15,0	16,7	27,9	31,4
48	-	13,0	14,0	19,3	14,0	15,8	25,7	29,1
51	-	11,8	13,0	18,2	13,3	14,5	24,2	27,4
54	-	11,2	12,3	18,2	12,9	13,8	22,2	27,4
57	-	-	-	16,5	12,5	13,8	21,4	25,2
60	-	-	-	15,1	-	13,2	19,8	24,0
63	-	-	-	14,0	-	12,7	18,5	22,0
66	-	-	-	13,1	-	12,4	17,7	20,3
69	-	-	-	12,4	-	12,2	17,1	19,1
72	-	-	-	12,0	-	-	16,1	18,5
75	-	-	-	-	-	-	15,7	18,0
78	-	-	-	-	-	-	14,8	18,0
81	-	-	-	-	-	-	13,6	17,0
84	-	-	-	-	-	-	12,8	16,1
87	-	-	-	-	-	-	12,3	15,1
90	-	-	-	-	-	-	-	14,5
93	-	-	-	-	-	-	-	14,0
96	-	-	-	-	-	-	-	13,1
99	-	-	-	-	-	-	-	12,6

Tabela 15A – Variação média diária da umidade do café em função do tempo de secagem durante as testemunhas, T₉, T₁₀, T₁₁ e T₁₂, com a utilização do terreiro convencional para processar a secagem com energia solar

Tempo (Dias)	UMIDADE DO CAFÉ (% b.u.)			
	TC ₉	TC ₁₀	TC ₁₁	TC ₁₂
1	34,63	36,33	55,10	56,38
2	31,76	31,50	46,99	51,15
3	26,12	28,38	39,50	48,07
4	22,74	25,76	35,60	46,75
5	17,82	22,25	33,22	42,85
6	16,10	19,70	30,39	40,70
7	15,30	17,23	27,30	38,50
8	13,40	15,02	23,88	27,10
9	12,20	13,50	20,31	23,90
10	-	11,94	18,90	20,10
11	-	-	18,00	18,10
12	-	-	17,20	15,60
13	-	-	15,92	13,70
14	-	-	13,50	12,98
15	-	-	12,19	12,35

Tabela 16A – Radiação solar global no terreiro convencional no período das 9 às 15 horas, para processar a secagem do café das testemunhas, T₉, T₁₀, T₁₁ e T₁₂

Tempo (Dias)	RADIÇÃO SOLAR (W m ⁻²)*			
	TC9	TC10	TC11	TC12
1	216,45	893,96	548,36	646,14
2	159,83	861,80	533,70	643,48
3	174,05	584,64	511,16	615,88
4	309,41	806,83	288,24	903,64
5	248,42	368,40	388,55	845,69
6	416,86	404,32	572,51	750,04
7	518,08	396,81	757,84	894,43
8	539,11	174,94	905,74	903,97
9	506,40	137,98	811,28	893,96
10	-	308,94	504,95	861,80
11	-	-	646,14	584,64
12	-	-	643,48	806,83
13	-	-	615,88	368,40
14	-	-	903,64	404,32
15	-	-	845,69	396,81
Rad. Média	343,18	493,86	631,81	701,34

* por dia de 6 horas

Tabela 17A – Temperatura média do ar de secagem ao longo do duto de aeração (0, 5, 10 e 15 m) durante os tratamentos T₁, T₂, T₃, T₄, T₅, T₆, T₇ e T₈

Tratamento	TEMPERATURA DO AR DE SECAGEM (°C)			
	0 (m)	5 (m)	10 (m)	15 (m)
1	56,6	54,6	51,4	50,2
2	57,8	55,7	52,6	51,8
3	58,9	56,2	51,2	50,2
4	58,6	57,4	52,8	51,6
5	40,3	39,2	37,8	37,0
6	40,5	39,6	38,3	37,1
7	39,8	38,2	36,7	35,4
8	39,6	38,1	36,5	35,2

Quadro 18 A - Umidade relativa média do ar de secagem nos tratamentos T₁, T₂, T₃, T₄, T₅, T₆, T₇ e T₈

Tempo (h)	UMIDADE RELATIVA (%)							
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
3	15,9	-	11,6	12,3	31,6	-	22,7	-
6	13,1	-	11,2	13,6	26,6	-	21,1	31,1
9	11,2	15,1	8,5	13,1	25,2	33,7	19,5	34,1
12	12,0	13,6	11,3	12,3	24,8	31,4	24,7	31,5
15	11,2	13,6	11,3	11,3	23,5	26,7	22,8	30,1
18	10,9	11,8	9,9	12,3	23,8	27,0	20,4	29,3
21	11,8	11,7	7,2	-	24,5	24,3	20,1	30,1
24	12,4	13,2	6,7	-	24,7	26,9	17,0	-
27	11,7	-	8,8	11,4	26,1	-	21,3	-
30	11,0	-	11,5	11,1	25,2	-	28,4	28,3
33	11,1	12,3	9,6	10,0	24,8	29,6	26,6	27,5
36	10,7	12,7	10,3	9,4	24,3	30,3	26,4	25,0
39	10,5	12,3	11,3	9,2	23,1	31,1	27,7	23,3
42	10,9	11,5	10,0	10,7	23,3	28,7	25,8	23,2
45	10,8	10,6	10,6	-	24,9	28,9	21,9	27,6
48	-	10,9	8,1	-	25,5	27,6	21,0	-
51	-	-	9,2	12,1	24,6	-	28,6	-
54	-	-	10,4	11,5	21,3	-	33,2	28,0
57	-	-	-	10,0	20,6	31,4	27,0	26,7
60	-	-	-	8,7	-	29,4	25,8	23,1
63	-	-	-	8,0	-	27,0	29,0	21,1
66	-	-	-	7,2	-	22,7	30,5	19,0
69	-	-	-	4,0	-	22,4	25,4	18,0
72	-	-	-	-	-	-	27,7	-
75	-	-	-	-	-	-	25,3	-
78	-	-	-	-	-	-	26,7	9,4
81	-	-	-	-	-	-	28,4	11,1
84	-	-	-	-	-	-	26,4	10,9
87	-	-	-	-	-	-	22,9	10,1
90	-	-	-	-	-	-	-	9,8
93	-	-	-	-	-	-	-	11,0