

SAMUEL MARTIN

**SECADOR DE FLUXOS CONCORRENTE E CONTRACORRENTE E
AVALIAÇÃO DO SEU DESEMPENHO NA SECAGEM DE CAFÉ CEREJA
DESCASCADO**

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
2009

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

M383s
2009

Martin, Samuel, 1978-

Secador de fluxos concorrente e contracorrente e avaliação do seu desempenho na secagem de café cereja descascado / Samuel Martin. – Viçosa, MG, 2009.
viii, 91f.: il. ; 29cm.

Inclui apêndices.

Orientador: Jadir Nogueira da Silva.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 79-82.

1. Café - Secagem. 2. Equipamento de secagem - Projetos e construção. 3. Café - Qualidade. 4. Café - Pós-colheita.

I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

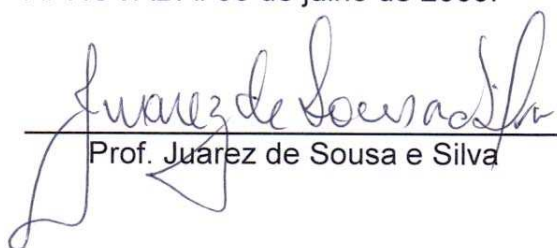
CDD 22.ed. 633.73

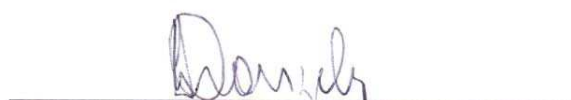
SAMUEL MARTIN

**SECADOR DE FLUXOS CONCORRENTE E CONTRACORRENTE E
AVALIAÇÃO DO SEU DESEMPENHO NA SECAGEM DE CAFÉ CEREJA
DESCASCADO**

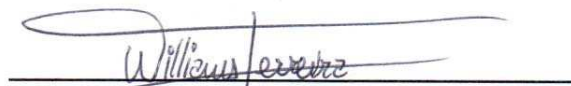
Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

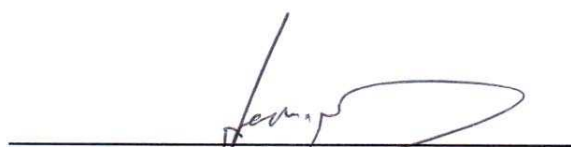
APROVADA: 03 de julho de 2009.


Prof. Juárez de Sousa e Silva


Pesq. Sérgio Maurício Lopes Donzeles
(Co-orientador)


Prof. Ilda de Fátima Ferreira Tinôco


Pesq. Williams Pinto Marques Ferreira


Prof. Jadir Nogueira da Silva
(Orientador)

AGRADECIMENTOS

À Deus, por todas as bênçãos recebidas;

À Universidade Federal de Viçosa e em especial ao Departamento de Engenharia Agrícola;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela bolsa de estudos;

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais, (FAPEMIG), pelo financiamento do projeto;

Ao professor Jadir Nogueira da Silva, pela orientação na realização deste trabalho;

Aos professores Adílio Flauzino de Lacerda Filho e Daniel Marçal de Queiroz, pela co-orientação;

Ao pesquisador Sérgio Maurício Lopes Donzeles (EPAMIG-CTZM), pela co-orientação.

Aos demais professores do curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola;

Aos meus familiares;

Aos amigos, colegas e funcionários; e

À todos que de alguma forma contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

RESUMO _____	v
ABSTRACT _____	vii
1 INTRODUÇÃO _____	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA _____	3
2.1 Introdução a secagem: conceito, princípios e importância _____	3
2.2 Secagem de café _____	6
2.2.1 Métodos de secagem de café _____	7
2.2.1.1 Terreiros convencionais e terreiros suspensos _____	8
2.2.1.2 Secagem a alta temperatura _____	8
2.3 Secadores _____	9
2.3.1 Secadores de fluxos concorrentes e de fluxos contracorrentes _____	9
2.3.2 Secadores de fluxos contracorrentes _____	11
2.4 Qualidade do café _____	12
2.5 Eficiência energética de sistemas de secagem _____	16
3 MATERIAL E MÉTODOS _____	20
3.1 Especificações gerais e tratamentos _____	20
3.2 Secador de fluxos concorrentes e fluxos contracorrentes _____	21
3.2.1 Dimensionamento _____	21
3.2.2 Detalhamento do protótipo _____	22
3.2.3 Funcionamento do sistema de secagem _____	27
3.2.4 Monitoramento das variáveis _____	31
3.3 Estudo das características qualitativas _____	32
3.3.1 Características físicas _____	32
3.3.1.1 Massa específica aparente _____	32
3.3.1.2 Porcentagem de impurezas _____	32
3.3.1.3 Danos no pergaminho _____	32
3.3.1.4 Peso de mil grãos _____	33
3.3.1.5 Análise de cor _____	34

3.3.2	Características químicas _____	35
3.3.2.1	Conductividade elétrica _____	35
3.3.2.2	Lixiviação de potássio _____	35
3.3.3	Classificação do café _____	36
3.3.3.1	Análise sensorial (prova-de-xícara) _____	36
3.3.3.2	Determinação do tipo _____	36
3.3.3.3	Classificação por peneiras _____	36
3.4	Estudo da eficiência energética _____	37
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO _____	42
4.1	Secador de fluxos concorrentes e contracorrentes _____	42
4.1.1	Temperatura do ar ambiente, ar de secagem, ar de exaustão, umidade relativa do ar ambiente e ar de exaustão _____	42
4.1.2	Temperatura da massa de grãos dentro do secador _____	45
4.1.3	Temperatura da massa de grãos na saída do secador _____	47
4.1.4	Teor de água da massa de grãos _____	49
4.1.4.1	Tratamentos _____	49
4.1.4.2	Testemunhas _____	50
4.2	Avaliação das características qualitativas _____	51
4.2.1	Avaliação das características físicas _____	52
4.2.1.1	Massa específica aparente _____	52
4.2.1.2	Porcentagem de impurezas _____	55
4.2.1.3	Danos no pergaminho _____	56
4.2.1.4	Peso de mil grãos _____	58
4.2.1.5	Análise de cor _____	59
4.2.2	Avaliação das características químicas _____	61
4.2.2.1	Conductividade elétrica _____	61
4.2.2.2	Lixiviação de potássio _____	62
4.2.3	Classificação do café _____	63
4.2.3.1	Análise sensorial (prova de xícara) _____	63
4.2.3.2	Determinação do tipo _____	65
4.2.3.3	Classificação por peneiras _____	66
4.3	Avaliação da eficiência energética _____	68
4.4	Considerações finais _____	74
5	CONCLUSÕES _____	77
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS _____	79
7	APÊNDICE _____	83

RESUMO

MARTIN, Samuel, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2009. **Secador de fluxos concorrente e contracorrente e avaliação do seu desempenho na secagem de café cereja descascado.** Orientador: Jadir Nogueira da Silva. Co-orientadores: Adílio Flauzino de Lacerda Filho, Daniel Marçal de Queiroz e Sérgio Maurício Lopes Donzeles.

Objetivou-se com este trabalho o desenvolvimento e a avaliação do desempenho de um secador para café de fluxos concorrentes e contracorrentes. O secador foi construído de chapas e perfis metálicos, com capacidade estática de 1,55 m³ de produto, com o primeiro estágio de secagem de fluxos concorrentes separado por uma câmara de repouso do segundo estágio de secagem de fluxos contracorrentes. O café secado foi processado na forma cereja descascado. Como gerador de calor utilizou-se uma fornalha a fogo direto, tendo como combustível carvão vegetal. A movimentação dos grãos foi processada por um elevador de caçambas. O fluxo de ar foi produzido por um ventilador centrífugo, o qual operava em regime de sucção. Foram aplicados dois tratamentos de secagem, caracterizados como tratamento 01 a secagem intermitente com revolvimento intermitente, à temperatura do ar de secagem de 45 °C, e tratamento 02 a secagem intermitente com revolvimento contínuo, à temperatura do ar de secagem de 70 °C. Foram realizados quatro testes de secagem para ambos os tratamentos, sendo que, para cada teste foi efetuada a secagem da testemunha em terreiro suspenso. Realizaram-se avaliações das características qualitativas do café, como as características físicas (massa específica aparente, porcentagem de impurezas, danos no pergaminho, peso de mil grãos, análise de cor), químicas (condutividade elétrica e lixiviação de potássio) e a classificação do café (análise sensorial, determinação do tipo e classificação por peneiras), assim como a

avaliação energética do sistema de secagem proposto. Para os testes em que foram utilizados o tratamento 01, o teor de água inicial e final observado foi respectivamente de $33,9 \pm 5,0$ e $11,8 \pm 0,7$ % (b.u.). Para os testes relativos ao tratamento 02, o teor de água inicial e final foi respectivamente de $29,0 \pm 3,6$ e $11,6 \pm 1,0$ % (b.u.). Com base nos resultados obtidos, pode-se concluir que o sistema de secagem proposto atendeu satisfatoriamente todas as necessidades para que fosse completada a secagem do café (processado na forma de cereja descascado). Os níveis de temperatura da massa de grãos, em ambos os tratamentos, permaneceram dentro dos recomendados para café. Os maiores rendimentos de peneira, para o café padrão bica corrida, foram obtidos para os tratamentos em relação às testemunhas. A secagem intermitente com revolvimento contínuo a 70 °C apresentou menor consumo específico de energia, em relação a secagem intermitente com revolvimento intermitente a 45 °C. Resultados maiores do que os esperados foram obtidos para a eficiência energética do sistema de secagem proposto, sendo que maior consumo específico de energia foi observado em testes cujo término da secagem ocorreu em poucas horas após o período de repouso.

ABSTRACT

MARTIN, Samuel, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2009.
Performance of a concurrent and counter-current flow dryer for drying of pulped coffee cherries. Advisor: Jadir Nogueira da Silva. Co-advisors: Adílio Flauzino de Lacerda Filho, Daniel Marçal de Queiroz and Sérgio Maurício Lopes Donzeles.

The objective of this work was to develop and evaluate the performance of a coffee grain dryer using concurrent and counter-current flows. The dryer was constructed of a metallic frame and plates, with a static capacity of 1.55 m³. An initial concurrent drying stage was separated from a second counter-current flow drying stage by a repose chamber. Coffee grains subjected to drying were previously pulped cherries. Heat was generated by a direct fired furnace fed with charcoal. Coffee grains were transported by a bucket elevator. Air flow was generated by a centrifugal fan operating in a suction regime. Two drying treatments were used, in which treatment 01 was characterized as intermittent drying with intermittent mixing at a drying air temperature of 45°C, and treatment 02 as intermittent drying with continuous reflux at a drying air temperature of 70°C. Four drying tests for both treatment types were performed, and compared with a control sample dried on a raised bed. Evaluations of the qualitative characteristics of the coffee were also carried out, including physical (apparent specific mass, percentage of impurities, shell damage, weight of 1000 beans, color analysis), chemical (electrical conductivity, potassium leaching) and coffee classification characteristics (taste analysis, type determination, sieving classification), as well as a energetic evaluation of the proposed drying system. For tests which utilized treatment 01, observed initial and final moisture contents were 33.9 ± 5.0 and 11.8 ± 0.7% (w.b.), respectively; and in the tests performed with treatment 02, initial

and final moisture contents were 29.0 ± 3.6 and $11.6 \pm 1.0\%$ (w.b.), respectively. Based on the obtained results, it can be concluded that the drying system satisfactorily attended all requirements for complete coffee drying (operating with pulped cherries). The temperatures used in both treatments were within recommended values for coffee grain. Sieve yields for standard “bica corrida” coffee, were greater from the treatments in relation to the control. Intermittent drying with continuous mixing at 70°C presented lower energy consumption compared to intermittent drying with intermittent mixing at 45°C . Results of energetic efficiency showed to be higher than initially expected for the proposed drying system, in which greater specific energy consumption was observed in tests where drying was concluded in only a few hours after the repose period.

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, a cafeicultura é considerada uma das principais atividades agrícolas. Dentre os diversos fatores que tornam esta atividade agrícola de importância nacional, podemos destacar o fato de que, em relação aos valores de exportação do agronegócio brasileiro, o café encontra-se na quinta colocação. Representou 6,6% do total de exportação do agronegócio, considerando o período janeiro-dezembro de 2008, ficando atrás do complexo soja, de carnes, produtos florestais e sucroalcooleiro, segundo dados do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2009).

O café tem sua comercialização baseada na qualidade, definida em função de duas classificações. A principal delas, refere-se a bebida (aroma e sabor), determinada na prova de xícara por provadores profissionais e, a outra, refere-se as características físicas, baseadas no aspecto e pureza dos grãos.

As práticas de colheita e pós-colheita, como pré-processamento, secagem e armazenagem, são de importância fundamental para a obtenção de café de qualidade. A colheita do café é realizada quando o produto encontra-se com alta umidade (60 a 70 % b.u.). Em função disso, imediatamente após a colheita faz-se a secagem, a fim de reduzir o risco de alterações indesejáveis no produto ocasionadas por fermentações, contribuindo para a obtenção de café de boa qualidade.

A operação de secagem pode ser feita com o café na forma integral, comumente denominado de café coco ou natural, com os frutos descascados, removendo-se apenas a casca e a polpa, denominados de cereja descascado e com os frutos desmucilados, removendo-se a casca, a polpa e a mucilagem por meio mecânico (desmucilador) ou biológico (fermentação).

Com a utilização de sistemas para a secagem de café, cuidados devem ser tomados no intuito de se evitarem problemas com a ocorrência de fermentações antes ou mesmo durante a secagem, contribuindo para a obtenção de um produto final uniforme e de alto padrão de qualidade. Com a evolução dos sistemas de secagem, encontram-se disponíveis no mercado diferentes modelos de secadores para café, como os de fluxos cruzados com câmara de descanso, de fluxos concorrentes, de fluxos contracorrentes, os cilíndricos rotativos e os de camada fixa (leito fixo). Entretanto, cabe ainda o surgimento de novos métodos e alternativas para a secagem de café, capazes de melhorar ainda mais o processo de secagem.

Com o intuito de desenvolver novas alternativas e de atender à demanda dos cafeicultores, a partir de tecnologias que contribuam para a realização da operação de secagem de modo mais eficiente e sem comprometer a qualidade do produto comercializado, realizou-se este estudo objetivando-se o desenvolvimento e avaliação de um secador para café com estádios de secagem de fluxos concorrentes e contracorrentes. Tal estudo baseia-se nos princípios físicos do processo de secagem dos grãos relacionados ao fluxo de ar e o fluxo de grãos, assim como na utilização de uma câmara de repouso intermediária as duas câmaras de secagem, que torna mais fácil a remoção de água da massa de grãos.

Os objetivos específicos foram:

- (i) desenvolver um secador com dois estádios de secagem: um em fluxos concorrentes e outro em fluxos contracorrentes;
- (ii) avaliar a qualidade do café utilizando-se o secador proposto; e
- (iii) avaliar a eficiência energética do secador proposto.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Introdução a secagem: conceito, princípios e importância

A secagem de produtos agrícolas é definida como o processo simultâneo de transferência de calor e massa (vapor d'água) entre o produto e o ar de secagem. Neste processo a retirada de umidade é obtida pela movimentação da água, decorrente da diferença de pressão de vapor de água entre a superfície do produto a ser secado e o ar que o envolve (SILVA et al. 2008).

A remoção da água do grão é feita para manter a sua qualidade durante a armazenagem, prevenindo o desenvolvimento de bactérias e fungos e, também, o desenvolvimento de insetos e ácaros, segundo Bala, citado por PARDE et al. (2003).

A secagem de grãos pode ser realizada utilizando-se ar ambiente ou ar aquecido, fazendo-se uso de diversos sistemas de secagem, sendo seu comportamento intimamente ligado às características físicas dos grãos. Segundo BROOKER et al. (1992), os grãos são considerados como produtos capilares porosos, cujos poros são preenchidos de água líquida e também da mistura ar-vapor d'água.

PARDE et al. (2003), ao citar Lewis e Sherwood, afirmam que estes autores foram os primeiros a investigar a teoria da secagem. Para tanto, Sherwood classificou a secagem em duas etapas. Na primeira etapa, em que a água evapora da superfície de um sólido, a resistência interna à difusão do líquido é muito pequena, quando comparada com a resistência a remoção de vapor de uma superfície (período a taxa constante). Na segunda etapa, em que a água evapora da superfície de um sólido e do interior do sólido, a resistência interna à difusão do líquido é muito grande, quando comparada com a resistência a remoção de vapor da superfície (taxa decrescente).

Conforme SILVA et al. (2008), segundo a teoria do movimento capilar (gargalo) o processo de secagem pode ser dividido em dois períodos, um denominado a razão constante e outro denominado a razão decrescente, o qual pode ser dividido em mais períodos, a saber:

- Período de razão constante: quando o produto se encontra completamente úmido, no início da secagem, a água escoar na fase líquida sob a ação de um gradiente hidráulico e, em condições naturais, a temperatura do produto se iguala a temperatura do bulbo molhado. Com a retirada da umidade, ocorre o decréscimo no diâmetro dos poros e capilares e, conseqüentemente, decréscimo de volume de produto igual ao volume de água evaporada. A energia utilizada neste período é praticamente igual à energia para evaporar água em uma superfície livre. Como exemplo deste período, pode-se citar o café recém saído do lavador. Neste período há o predomínio da migração de umidade pelo mecanismo de fluxo capilar. O momento no qual se termina o processo de secagem a taxa constante e se inicia o processo de secagem a taxa decrescente, é denominado de ponto de umidade crítico (FIGURA 01(a)).

- Primeiro período a razão decrescente: à medida que a secagem prossegue e tenha passado pelo ponto de umidade crítica, o teor de água decresce e a água na fase líquida faz a ligação entre as partículas sólidas (produto), formando as pontes líquidas. Apesar de poder ocorrer escoamento de água na fase de vapor, o escoamento é predominantemente capilar. A temperatura do produto atinge valores superiores à temperatura de bulbo molhado. Com a contração de volume do produto, a superfície evaporativa se reduz, e a taxa de evaporação decresce (FIGURA 01(b)).

- Segundo período a razão decrescente: a água existente nos poros pode migrar, arrastando-se ao longo das paredes capilares ou evaporando e condensando, sucessivamente, entre as pontes líquidas. A pressão parcial de vapor decresce e a contração do volume do produto continua, porém em menor intensidade. Neste período há o predomínio da migração de umidade pelo mecanismo de evaporação-condensação (FIGURA 01(c)).

- Terceiro período de secagem decrescente: a secagem ocorre no interior do produto. A umidade de equilíbrio é atingida quando a quantidade de água evaporada se iguala à condensada. Neste período há o predomínio da migração de umidade pelo mecanismo de fluxo de vapor. A rapidez de secagem é determinada pela velocidade de movimento interno de umidade, sendo que a

velocidade do ar, sua temperatura e sua umidade têm menor efeito no progresso da secagem (FIGURA 01(d)).

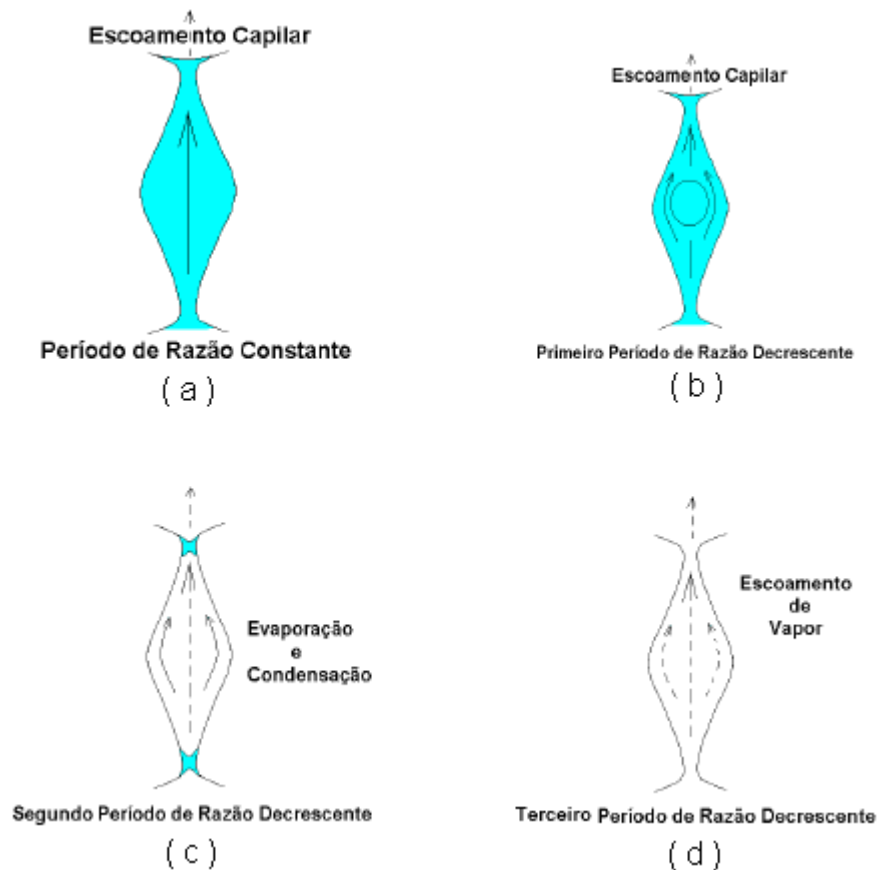


FIGURA 01. Movimentação de água durante a secagem: (a) Período a razão constante; (b) Primeiro período a razão decrescente; (c) Segundo período a razão decrescente; (d) Terceiro período de secagem decrescente (SILVA et al. 2008).

A secagem de produtos biológicos em camadas de espessura reduzida e com ar em condições constantes exibe, no início, uma taxa constante e em seguida, uma taxa decrescente de perda de umidade. Já os grãos de cereais geralmente são secos a taxas de secagem decrescentes (BROOKER et al. 1992). Na FIGURA 02 é ilustrada a característica da secagem de produtos biológicos e de cereais.

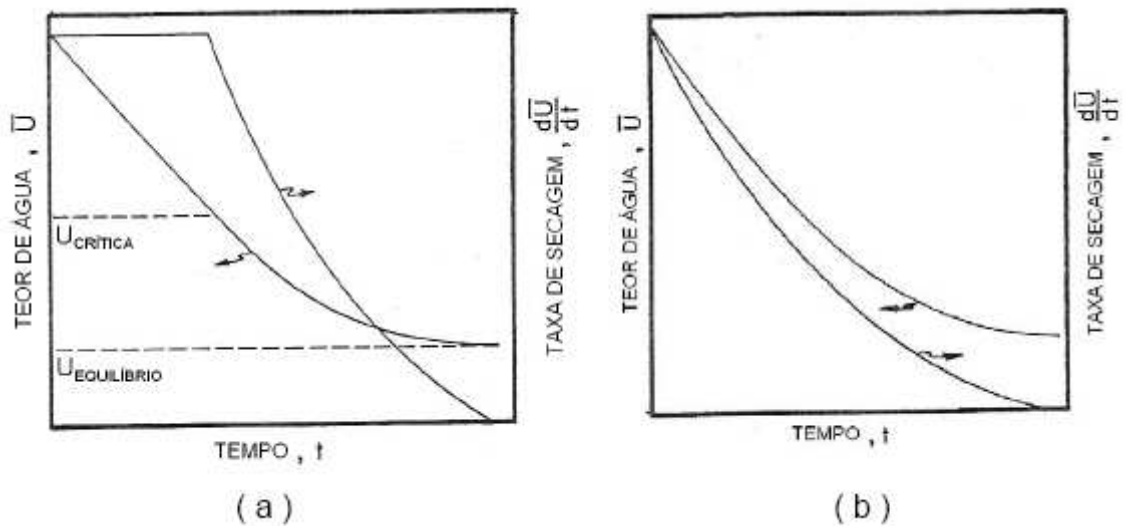


FIGURA 02. Secagem de produtos biológicos com taxas de secagem constante e decrescente (a); e secagem de cereais a taxa de secagem decrescente (b). BROOKER at al. (1992).

A medida em que aumenta a exigência por produtos de qualidade, pelos consumidores, o sistema produtivo e os órgãos de pesquisa são forçados a tomar medidas cada vez mais eficientes, tendo como objetivo a redução da perda de qualidade e de produto, nas etapas de pós-colheita. Neste contexto, a operação de secagem é de fundamental importância pelas seguintes razões (MILMAN, 2002 e SILVA et al. 2008):

- permite antecipar a colheita;
- permite o armazenamento por períodos prolongados, sem o perigo de deterioração do produto;
- reduz o desenvolvimento de microorganismos e insetos; e
- minimiza a perda do produto no campo.

2.2 Secagem de café

A operação de secagem de café é uma prática que exige alguns cuidados especiais para se evitar perdas qualitativas no produto. Segundo DONZELES et al. 2008, 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 ocorrer danos;

- secar os grãos no menor tempo possível, até 18% b.u.; e
- procurar obter um produto de coloração uniforme.

O tempo necessário para a secagem de uma massa de grãos é influenciado pela combinação de diversos fatores. Dentre estes fatores podem-se citar as características do ar de secagem (como propriedades principais tem-se a temperatura, a umidade relativa e as demais propriedades higroscópicas do ar); a característica do produto a ser secado (refere-se à temperatura e à umidade do produto, suas características físicas, químicas e morfológicas); e a característica do equipamento utilizado (refere-se às características do equipamento, como o sistema de secagem e sua eficiência).

Segundo VILELA (1997), em relação a secagem de café em secadores, a temperatura deve ser controlada para não ultrapassar 45 °C na massa do café, média esta recomendada para não prejudicar a qualidade do café.

Em secadores de fluxos concorrentes, as trocas simultâneas de energia e massa na entrada do secador causam rápida redução na temperatura inicial do ar de secagem, assim como no teor de água do produto. Deste modo, a temperatura do produto permanece consideravelmente abaixo da temperatura inicial do ar de secagem (SILVA et al. 2008). Já nos secadores de fluxos contracorrentes, a temperatura da massa de grãos pode atingir valores muito próximos à do ar de secagem. Portanto, secadores de fluxos concorrentes podem operar com temperaturas do ar de secagem superiores aos secadores de fluxos contracorrentes, para as mesmas condições de secagem. Entretanto, em ambos secadores a temperatura da massa de grãos deve ser controlada para não atingir valores superiores a 45 °C.

Deste modo, ao se determinar a temperatura do ar de secagem utilizada em secadores, deve-se considerar o sistema de secagem implementado.

2.2.1 Métodos de secagem de café

De modo geral, os métodos de secagem podem ser divididos em natural e artificial.

A secagem natural se caracteriza por ocorrer na própria planta, sem interferência do homem. A secagem artificial é caracterizada pela utilização de processos manuais ou mecânicos tanto no manejo do produto quanto na passagem do ar através da massa dos grãos (SILVA et al. 2008). A secagem

natural, que ocorre na própria planta, é indesejável quando se busca a produção de café de alta qualidade, pois o produto não é colhido no momento de sua maturação (ideal), além de permanecer por maior período de tempo na planta, perdendo qualidade. A fim de evitar perdas na qualidade do café, os cafeicultores utilizam somente a secagem artificial.

A secagem artificial pode ser processada fazendo-se uso de ventilação natural ou de ventilação forçada. Para o caso em que se utiliza ventilação natural, a secagem pode ser feita em terreiros convencionais ou suspensos. Já a secagem com ventilação forçada pode ser classificada, de acordo com o aquecimento ou não do ar de secagem, em: secagem com ar natural não-aquecido; secagem a baixa temperatura; secagem a alta temperatura; secagem combinada; e seca-aeração.

Dentre os sistemas de secagem para café, pode-se citar como os mais utilizados: terreiros convencionais (de concreto, tijolo, asfalto ou chão batido) e terreiros suspensos, secagem com ar natural não-aquecido e a baixa temperatura, secagem a alta temperatura, secagem combinada e seca-aeração.

2.2.1.1 Terreiros convencionais e terreiros suspensos

No processo de secagem em terreiros, o café é secado pela ação dos raios solares e pela ventilação natural (SILVA et al. 2001). Preferencialmente, a secagem deve ser feita em terreiros concretados, que apresentam menores riscos de comprometimento da qualidade comparativamente aos demais.

No caso dos terreiros suspensos, o produto fica disposto sobre uma tela suspensa, apresentando menores chances de contaminação por microorganismos indesejáveis, em comparação aos terreiros convencionais, em que o produto fica em contato direto com o piso.

2.2.1.2 Secagem a alta temperatura

A secagem a alta temperatura é feita com uso de secadores mecânicos, cujo ar é aquecido a temperatura superior a 10 °C em relação à temperatura ambiente. Em comparação com a secagem com ar à temperatura ambiente ou à baixa temperatura, é mais rápido e independe das condições climáticas (SILVA et al. 2008).

A secagem com alta temperatura, segundo SILVA et al. (2008) e SILVA et al. (2001) pode ser classificada, quanto ao fluxo de ar e produto em: secador de

camada fixa horizontal; secador de camada fixa vertical; secador de fluxos cruzados; secador de fluxos concorrentes; secador de fluxos contracorrentes; secador rotativo; e secador de leito fluidizado.

2.3 Secadores

O secador de grãos é um equipamento mecânico destinado a secagem por ação de ar aquecido ou natural. O desempenho da operação, a qualidade final do grão e o consumo de energia de um secador de grãos são influenciados pelos seguintes fatores: fatores físicos (clima e as condições ambientais); fatores biológicos (espécie de grão e o genótipo); fatores humanos e fatores auxiliares (controladores automáticos, medidores de umidade e temperatura, máquinas de limpeza e outros) (MILMAN, 2002).

2.3.1 Secadores de fluxos concorrentes e de fluxos contracorrentes

Em secadores de fluxos concorrentes, o fluxo de ar e de grãos tem o mesmo sentido, ou seja, o grão tem fluxo vertical descendente e o ar também. A FIGURA 03 ilustra o esquema de funcionamento de um secador de acordo com seu fluxo.

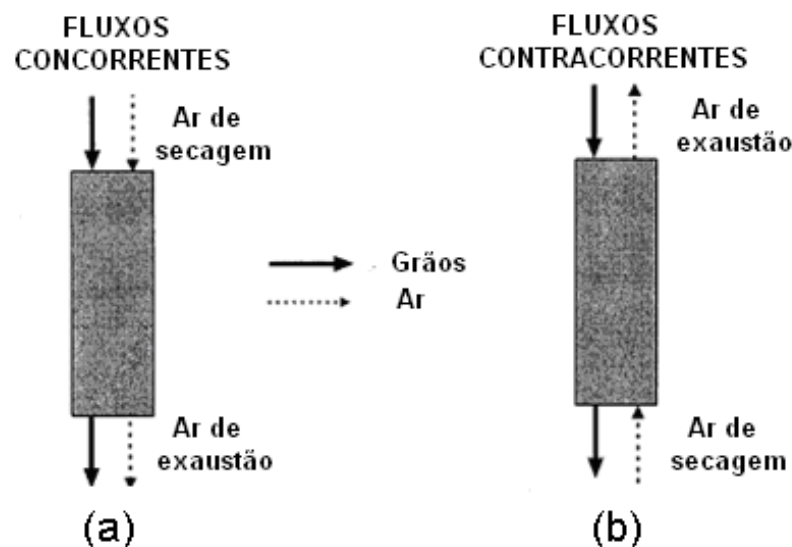


FIGURA 03. Esquema do funcionamento dos secadores a altas temperaturas: (a) fluxos concorrentes, (b) fluxos contracorrentes (BROOKER at al., 1992).

Neste método de secagem, altas taxas de evaporação ocorrem na parte superior da camada, uma vez que o ar com maior potencial de secagem encontra o produto mais úmido. As trocas intensas e simultâneas de energia e massa na

entrada do secador (ar/produto) causam rápida redução na temperatura inicial do ar de secagem, assim como no teor de água do produto. Por esta razão, a temperatura do produto permanece consideravelmente abaixo da temperatura inicial do ar de secagem. Estes secadores são caracterizados pela alta eficiência energética e pela boa qualidade final do produto (SILVA et al. 2008).

Na FIGURA 04 estão ilustradas as características do processo de secagem concorrente, em que a temperatura e a umidade do grão, e a temperatura do ar de secagem são ilustradas em função da localização no estágio de secagem (BROOKER et al. 1992).

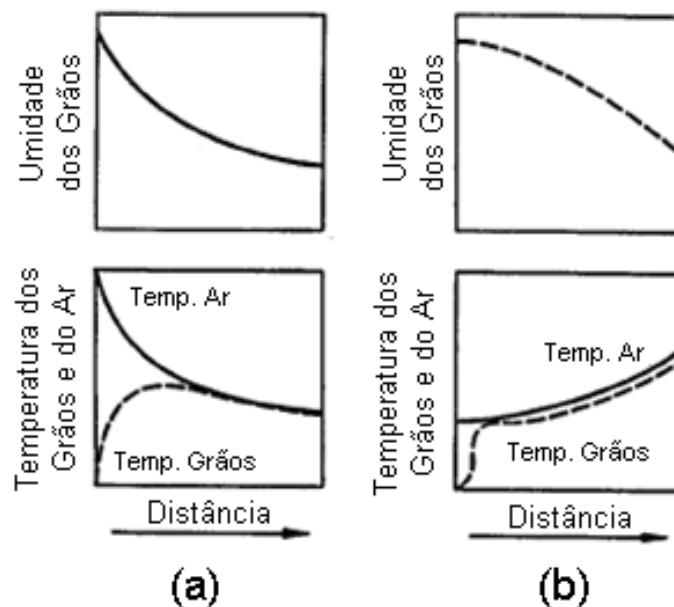


FIGURA 04. Mudanças de temperatura e umidade durante a secagem: (a) fluxos concorrentes, (b) fluxos contracorrentes (BROOKER et al. 1992).

Ao iniciar o processo de secagem, no estágio de fluxos concorrentes, o grão com elevado teor de água é submetido ao ar de secagem a alta temperatura, o que provoca o rápido aquecimento do grão e conseqüente resfriamento do ar de secagem. Posteriormente, o grão atinge a máxima temperatura e também a máxima taxa de secagem. Durante o período restante no estágio de secagem, a temperatura do ar e do grão decrescem lentamente, em equilíbrio, sendo que o grão continua perdendo umidade a uma taxa decrescente e o ar tem sua umidade aumentada (BROOKER et al. 1992).

Pode-se observar que em secadores de fluxos concorrentes, apenas uma curva de secagem é possível, diferentemente dos secadores de fluxo cruzado (FIGURA 04), onde existem curvas de mínima, média e máxima umidade para os grãos no mesmo estágio de secagem. A uniformidade de secagem em secadores

de fluxos concorrentes é uma de suas principais vantagens (BROOKER et al. 1992).

Segundo ASHRAE (1999), em secadores de fluxos concorrentes é possível fazer uso de temperatura do ar de secagem mais elevada do que a temperatura utilizada nos secadores de fluxos contracorrentes e cruzados. Isto pelo fato de o ar quente entrar em contato com o grão com elevado teor de água. Nesta condição, o rápido resfriamento evaporativo que ocorre nos grãos úmidos impede que estes atinjam altas temperaturas. Como neste tipo de secagem são utilizadas temperaturas do ar de secagem mais elevadas, a eficiência energética é maior do que a obtida nos convencionais secadores de fluxos cruzados. Para os casos de secadores que combinam a secagem em fluxos concorrentes com uma câmara de resfriamento de fluxos concorrentes, observa-se um baixo stress térmico nos grãos, resultando em um produto de alta qualidade.

Segundo FAO (1996), secadores de fluxos concorrentes apresentam a vantagem de se poder utilizar altas temperaturas do ar de secagem, que originam altas velocidades de secagem sem aquecer excessivamente os grãos. Este mesmo autor citou que, neste tipo de secagem, o consumo específico de energia é da ordem de 3.560 a 3.770 kJ kg⁻¹ de água evaporada.

2.3.2 Secadores de fluxos contracorrentes

Em secadores de fluxos contracorrentes, o fluxo de ar e de grãos têm sentidos contrários. O grão tem fluxo vertical descendente e o ar fluxo vertical ascendente. Por meio da FIGURA 03 ilustra-se o seu esquema operacional. Por meio da FIGURA 04 ilustra-se o comportamento da umidade e da temperatura do grão e da temperatura do ar, em função da localização no estádio de secagem, para secadores de fluxo contracorrente (BROOKER et al. 1992).

Nos secadores de fluxos contracorrentes, o ar e o produto fluem em sentido contrário, o que propicia à temperatura da massa de grãos atingir valores muito próximos aos do ar de secagem. Como boa parte da energia é utilizada no aquecimento dos grãos, reduzindo a disponibilidade de energia para a secagem, segundo Brooker et al., citado por PINTO (1993), se a espessura da camada de grãos for suficiente para absorver o potencial de secagem do ar, o consumo específico de energia, nesses secadores, torna-se relativamente baixo, na ordem de 3.500 a 4.600 kJ kg⁻¹ de água evaporada.

Segundo ASHRAE (1999), como parte do processo de secagem em regime contracorrente em silos, o ar úmido ao sair do estágio de secagem, saturado ou quase saturado, atravessa os grãos frios que entram no secador. Nessa situação, parte da energia é gasta para aquecer o grão frio, sendo que poderá haver a condensação do vapor d'água se a camada de grãos for espessa e se a temperatura inicial dos grãos for suficientemente baixa.

2.4 Qualidade do café

A qualidade do café tem sido objeto de estudo durante a avaliação de secadores em função de estar estreitamente relacionada com as operações de pós-colheita. A fim de se acompanhar o processo de secagem, são monitoradas variáveis como a temperatura do ar ambiente, ar de secagem e ar de exaustão, umidade relativa do ar ambiente e do ar de exaustão, e também a temperatura e a umidade da massa de grãos. Além destas variáveis, são também determinadas características físicas da massa de grãos como porcentagem de impureza, massa específica aparente, peso de mil grãos e outros.

Já a realização de análises químicas, com metodologias específicas, refere-se a atribuição de valores quantitativos à qualidade do café, ligada a atributos dos grãos imperceptíveis a olho nu. Dentre estas análises, pode-se citar: lixiviação de potássio, condutividade elétrica, acidez titulável total, açúcares redutores, não-redutores e totais e polifenóis.

Entretanto, a principal análise é a sensorial (prova-de-xícara), na qual degustadores habilitados e especializados classificam o café (grão cru) em função do aroma e do sabor. Deste modo, o café pode ser classificado como estritamente mole, mole, apenas mole, duro, riado e rio, escala esta que representa classificação decrescente em qualidade de bebida. Também é realizada a determinação do tipo do café e sua classificação por peneiras, para obtenção do rendimento comercial.

GOULART et al. (2007), ao estudarem os aspectos histoquímicos e morfológicos de grãos de café de diferentes qualidades (bebida mole, dura e rio), obtiveram como resultado maiores valores de lixiviação de potássio e aumento de condutividade elétrica nos cafés de menores qualidades, indicando provavelmente, que as membranas e paredes celulares sejam as responsáveis, direta e indiretamente, pelas transformações no grão, quando este se deteriora. Também relataram que cafés de pior qualidade apresentam células

desestruturadas, em que os diferentes índices de degradação celular descaracterizam o tecido endospermico pela desorganização dos corpos lipídicos dentro das células, ocasionando reações que culminam num processo de deterioração da qualidade da bebida.

PRETE (1992) concluiu que existe uma relação inversa entre o padrão de bebida e condutividade elétrica, ou seja, quanto melhor a qualidade da bebida, menores os valores de condutividade elétrica dos exsudados dos grãos crus de café. Esta relação inversa pode ser explicada pelo fato de que a perda da qualidade do café está relacionada com a degeneração das membranas celulares e subsequente perda de controle da permeabilidade.

GOULART et al. (2003), ao realizar uma análise comparativa entre lixiviação de potássio e condutividade elétrica de amostras de café de diferentes padrões de qualidade (estritamente mole, mole, apenas mole, duro, riado e rio), obtiveram como resultado valores maiores de lixiviação de potássio e condutividade elétrica com a piora da qualidade dos cafés.

SILVA et al. (2006) estudaram o efeito da altitude na qualidade do café cereja descascado. Foi realizada a análise sensorial e química de lixiviação de potássio e condutividade elétrica dos grãos de café coletados em duas distintas faixas de altitude (entre 720 e 920 m e entre 920 e 1.120 m), para amostras classificadas sem e com defeito. Dentre os resultados obtidos, amostras sem defeito apresentaram menores valores de lixiviação de potássio e condutividade elétrica, comparativamente às amostras com defeito. Concluíram também que altitudes maiores possibilitam a produção de cafés de melhor qualidade em função do menor número de defeitos no produto.

MALTA et al. (2003), ao avaliarem a composição química e a qualidade do café submetido a diferentes formas de pré-processamento (natural, descascado, desmucilado e bóia), não observaram diferenças significativas entre os tipos de pré-processamento do café em relação aos valores de condutividade elétrica e lixiviação de potássio encontrados, além de não terem verificado diferenças na qualidade do café em relação à análise sensorial, apresentando ambos bebida mole.

SILVA et al. (2008a) avaliaram a composição química do café submetido a diferentes formas de preparo (integral, cereja+bóia, bóia e cereja descascado) e diferentes tipos de terreiros de secagem (concreto, lama asfáltica, leite suspenso e terra). Estes autores obtiveram menores valores de condutividade elétrica para

o café cereja descascado, o que sugere que essa forma de preparo pode propiciar cafés de boa qualidade, e que o terreiro de terra provocou maiores valores médios de condutividade elétrica em relação aos demais terreiros.

AFONSO JUNIOR et al. (2004), ao avaliarem a contribuição das etapas de pré-processamento e processamento na qualidade de café, realizaram testes com diferentes operações (cereja, despulpado e descascado) para diferentes períodos de armazenamento, com secagem em terreiro de concreto e em secador mecânico de fluxo cruzado intermitente. Como indicativos da qualidade do produto, foram realizados testes sensoriais e avaliações de condutividade elétrica da solução de embebição e cor dos grãos beneficiados de café. Para tanto, concluíram que a adoção de cuidados e tecnologias adequadas durante as etapas de pré-processamento, processamento e secagem contribuíram para a melhoria da qualidade do café; que a retirada da casca dos frutos de café contribui para a melhoria de sua qualidade; que o processo de retirada da mucilagem não alterou significativamente a qualidade do grão de café; e que os frutos secos em terreiros apresentaram melhores resultados quanto à qualidade, quando comparados ao café secado mecanicamente. Estes autores também relatam a elevação dos valores de condutividade elétrica e das coordenadas L^* e b^* com o prolongamento do tempo de armazenamento, os quais indicam uma possível perda de qualidade do café com o aumento do tempo de estocagem.

Segundo LOPES et al. (1998), a colorimetria tem como objetivo relatar, em termos numéricos, a cor de um determinado objeto. Estes mesmos autores, citando Graner e Godoy relataram que, durante o armazenamento, os grãos de café sofrem alterações na cor de acordo com a umidade, temperatura e condições de iluminação do ambiente de estocagem, podendo passar da coloração verde para esverdeada, esverdeada clara, clara com resquícios de verde, amarelado, amarelo, esbranquiçado e branco por completo.

VILELA et al. (2000) avaliaram a perda de cor dos grãos de café utilizando armazenamento em quatro temperaturas (10, 20, 30 e 40 °C) e quatro umidades relativas (52, 67, 75 e 85%), sendo observado que, com exceção dos grãos armazenados a 10 °C e umidades relativas de 52, 67 e 75% e a 20 °C com umidade relativa de 52%, todos os demais tratamentos apresentaram perda de cor acentuada. Também observaram que a taxa de descoloração se relacionou diretamente com as condições do ambiente de armazenamento, no sentido de

que quanto maiores as condições de temperatura e umidade relativa, mais rapidamente foi notada a manifestação do branqueamento.

AFONSO JUNIOR (2001), ao avaliar a cor de grãos beneficiados de café, secados a temperaturas de 30, 40, 50 e 60 °C ao longo do período de armazenamento, verificou que as temperaturas do ar de secagem de 50 e 60 °C influenciaram negativamente a coloração dos grãos beneficiados de café e seus efeitos sobre as coordenadas L^* , a^* e b^* , do sistema Hunter, tornando-se mais acentuadas durante o armazenamento do produto, para todos os tratamentos empregados. No entanto, para temperatura de 60 °C, estes efeitos danosos para a cor dos grãos de café foram mais evidentes que os observados para a temperatura de 50 °C.

VASCONCELOS et al. (2005), ao caracterizarem grãos de café defeituosos e sadios, por meio de análises físico-químicas, observaram menores valores de L^* (luminosidade) para os grãos defeituosos em comparação aos grãos sadios.

CORADI et al. (2008) avaliaram a cor em amostras de café natural e despulpado com secagem em terreiro e em secador mecânico de camada fixa, com temperaturas do ar de secagem de 40 °C e 60 °C. Estes autores observaram que a temperatura de 60 °C e o café natural apresentaram, respectivamente, os maiores valores de luminosidade (L^*) e cromaticidade (a^*), caracterizando os grãos de café secados a 60 °C como de pior qualidade, quando comparados com a secagem em terreiro e temperatura de 40 °C.

LEITE et al. (1998) avaliaram a qualidade do café coco, descascado e beneficiado, para um período de armazenamento convencional (sacos de aniagem) de até 300 dias. Neste trabalho, observaram que existe uma correlação positiva entre cor e qualidade da bebida e que, durante o armazenamento, todos os tipos de café apresentaram variação de cor, tendendo ao branqueamento, sendo que para o café beneficiado foi observada a tendência mais marcante. Os cafés coco e descascado variaram a cor de verde-escuro para esverdeado claro e os cafés beneficiados, de verde-escuro para branco.

PALACIN (2007), ao realizar o balanço energético e a análise econômica para a produção de café de montanha, para café lavado, em coco, e também café desmucilado mecanicamente, avaliou a secagem em terreiro convencional de concreto, a secagem em secador de leito fixo e a secagem combinada em secador de leito fixo completando-se a secagem em silo secador (com ar natural). Dentre os resultados obtidos, para a secagem de café coco, citou que o processo

de secagem no secador de leite fixo proporcionou melhor homogeneidade na cor, maior tamanho do produto (maior porcentagem na peneira 17/18) e menor quantidade de defeitos, além do melhor padrão de qualidade. Para o café desmucilado mecanicamente, os resultados de tipo e bebida permitem recomendar as secagens em secador de leite fixo e a secagem combinada, como alternativas técnicas de secagem de café, uma vez que garantem a obtenção de um tamanho maior do produto e o aumento no padrão da qualidade da bebida. Neste estudo, concluiu-se que o tamanho e massa específica dos grãos de café secados no secador de leite fixo e no sistema combinado desse secador com os silos de alvenaria, foram superiores (2,5-3,0%) em relação aos grãos secados em terreiro de concreto.

2.5 Eficiência energética de sistemas de secagem

A análise energética é prática muito utilizada em estudos de secadores, na busca de alternativas que reduzam o consumo específico de energia.

Em estudos realizados por SILVA et al. (2001) e OSÓRIO (1982), sobre secagem de café em secadores de fluxos concorrentes, utilizando café coco com umidade média inicial de 25,4% (b.u.) e umidade média final de 10,7% (b.u.), foram obtidos resultados para o consumo específico de energia de 5.697, 4.869 e 4.759 kJ kg⁻¹ de água evaporada, para as temperaturas de 80, 100 e 120 °C, respectivamente. O café coco, antes de ser introduzido no secador, foi submetido a pré-secagem em terreiro. Nestas condições, SILVA et al. (2001) citaram que, embora a temperatura recomendada fosse de 80 °C, foi possível secar o café com o ar de secagem a 120 °C sem prejudicar a qualidade final da bebida. Para tal, foi necessário aumentar a velocidade do produto dentro do secador e manter o produto fluindo uniformemente.

LACERDA FILHO e SILVA (2001), ao avaliarem a secagem intermitente de café cereja em um secador de fluxos concorrentes, com redução da umidade de 26,5 para 12,5% (b.u.), utilizando temperatura do ar de secagem de 77,4±10 °C, obtiveram como resultado o consumo específico de energia de 12.146,6 kJ kg⁻¹ de água evaporada. Estes autores concluíram que o referido sistema permitiu a utilização de temperatura igual a 85±5 °C, no ar de secagem, sem o comprometimento da qualidade do café, obtendo-se a característica de bebida apenas mole, isto é, o mesmo resultado observado no terreiro. Também concluíram que mesmo que a temperatura do ar de secagem tenha atingido 92

°C, a máxima temperatura da massa de grãos foi de 55 °C, evidenciando-se o efeito da intermitência no processo de secagem e a importância do ar e dos grãos movimentarem-se no mesmo sentido do secador, como é característico no sistema de secagem de fluxos concorrentes.

SILVA (1991), com o objetivo de avaliar a secagem intermitente em fluxos contracorrentes para café, realizou testes com temperatura do ar de secagem de 60, 80 e 100 °C (para o fluxo de ar de $18,5 \text{ m}^3\text{min}^{-1}\text{m}^{-2}$ e fluxo de grãos de $0,13 \text{ m}^3\text{min}^{-1}\text{m}^{-2}$). De acordo com os dados experimentais e do programa de simulação desenvolvido para a redução da umidade de 0,43 para 0,14 b.s., foi constatado que o consumo específico de energia para as temperaturas de 60, 80 e 100 °C foi de 8.380, 7.547 e 6.442 kJ kg^{-1} de água evaporada, respectivamente. Para a condução dos testes, a secagem do café até o estágio de meia-seca (umidade de aproximadamente 25% b.u.) foi executada em secador de leito fixo a 50 °C e com fluxo de ar de $3,8 \text{ m}^3\text{min}^{-1}\text{m}^{-2}$. Os testes com as temperaturas do ar de secagem a 60, 80 e 100 °C foram realizados com café à umidade média inicial de 25,4, 25,0 e 31,5% (b.u.) e umidade média final de 17,9, 14,4 e 14,2% b.u., respectivamente. Ao analisar a qualidade da bebida, o autor concluiu que o produto secado resultou em melhor qualidade da bebida, realizada por meio da análise sensorial, comparativamente as testemunhas. Com relação às temperaturas de secagem estudadas, não foi observado diferenciação na qualidade da bebida.

Com a finalidade de avaliar a utilização de dois estádios de secagem, contracorrentes e concorrentes, em um único secador e reduzir o consumo de energia na secagem de café, foi projetado, construído e avaliado por PINTO (1993) o protótipo de um secador intermitente de fluxos contracorrentes/concorrentes. O café utilizado, em coco, foi previamente secado até o estágio de meia-seca (umidade média de 34,7% b.u.) em terreiro ou secador de leito fixo. A complementação da secagem foi realizada com o protótipo desenvolvido. Para dois testes em que foi utilizado temperatura do ar de secagem de 120°C, a massa de grãos foi submetida a redução de umidade de 28,4 para 13,6 % b.u. e de 37,2 para 13,0 % b.u., e o consumo específico de energia observado foi de 6.573 e 5.457 kJ kg^{-1} de água evaporada, respectivamente.

LACERDA FILHO e SILVA (2006) avaliaram a secagem de café em combinação (meia-seca em leito fixo e complementação da secagem em secador de lotes, intermitente, de fluxos concorrentes), colhidos pelo método de derriça no chão e pré-processados via seca. Para a etapa de secagem em leito fixo, com

redução de umidade média de 69,9 para 45,6% (b.u.), o consumo específico de energia variou entre 8.400 e 9.100 kJ kg⁻¹ de água evaporada. Já para a secagem no secador de fluxos concorrentes, com redução de umidade média de 45,5 para 12,8% (b.u.), o consumo específico de energia variou entre 7.100 e 16.900 kJ kg⁻¹ de água evaporada.

Com a finalidade de adaptar a tecnologia de secagem com sistemas combinados para café, FREIRE (1998) avaliou um sistema em que o café despulpado, pré-secado em terreiro, passava por uma secagem parcial em um secador experimental de alta temperatura de fluxos contracorrentes e concorrentes e, em seguida, era transportado para um sistema a baixa temperatura, composto por um silo-secador. A temperatura média para o ar de secagem foi de 75,3 °C no sistema a alta temperatura e de 21,4 °C no sistema de baixa temperatura. Obtiveram menor consumo específico de energia na secagem com sistemas combinados, equivalente a 5.000 kJ kg⁻¹ de água evaporada para o teste um (com umidade inicial e final de 32 e 13% b.u.) e 3.300 kJ kg⁻¹ de água evaporada para o teste dois (onde houve a redução de umidade de 42 a 14% b.u.), em relação ao teste realizado para o sistema de secagem a alta temperatura, onde consumo específico de energia foi equivalente a 11.200 kJ kg⁻¹ de água evaporada, para redução de umidade de 24 para 14% (b.u.).

OCTAVIANI (2005) avaliou o uso de secadores horizontais rotativos, no qual foi secado café cereja descascado desmucilado, utilizando lenha de eucalipto e gás liquefeito de petróleo (GLP) como combustíveis, para secagem a altas temperaturas. Os resultados médios obtidos do consumo específico de energia, para a secagem com lenha (a fogo indireto) e GLP (fogo direto) foram de 8.990 e 3.730 kJ kg⁻¹ de água evaporada, respectivamente. A umidade média inicial e a umidade média final para os testes a lenha foram de 49,4 e 11,6% (b.u.), e para os testes a GLP foram de 48,7 e 11,6% (b.u.), respectivamente. A temperatura média do ar de secagem variou entre 66,28 e 88,63 °C. Quanto à análise da bebida, concluiu que não houve diferença entre as amostras analisadas.

SANTOS et al. (2006), ao proporem alterações técnicas e operacionais em um secador rotativo para a secagem café cereja, avaliaram o consumo específico de energia e a análise sensorial da bebida. Fizeram o uso de uma fornalha a fogo indireto a lenha. Para tanto, concluíram que as modificações realizadas resultaram em uma melhor eficiência energética. Os resultados obtidos, todos para um mesmo padrão de bebida, foram: para o secador modificado, consumo

específico de energia médio de 8.800 kJ kg^{-1} de água evaporada e para o secador comercial, consumo específico de energia médio de $13.409 \text{ kJ kg}^{-1}$ de água evaporada. Isto tudo com redução da umidade média inicial de 65,5 para 10,9% (b.u.).

Um protótipo de secador de fluxos cruzados com reversão do fluxo de ar e reaproveitamento do ar de resfriamento, para a secagem de café, foi desenvolvido por PINTO FILHO (1994). Na avaliação deste secador, para secagem de café em coco, foram utilizadas três temperaturas para o ar de secagem de 60, 75 e 90 °C, com umidade média inicial de 27,1, 29,1 e 27,6% b.u. e final de 15,4, 15,1 e 13,9% b.u. respectivamente. Nestas situações, o consumo específico médio de energia, com energia elétrica, foi de 20.022, 12.315 e 10.578 kJ kg^{-1} de água evaporada, para as temperaturas do ar de secagem de 60, 75 e 90 °C, respectivamente.

Segundo PALACIN et al. (2005) ao estudarem boas práticas para produzir café com qualidade, avaliaram dois tratamentos para secagem de café, sendo um a secagem em terreiro de concreto, ao sol, e outro a secagem combinada, realizada inicialmente em um secador de leito fixo (terreiro híbrido), em leiras, até o ponto de meia-seca (umidade entre 18 e 25% b.u.), e a complementação da secagem em um silo secador, com ar a temperatura ambiente. Com base nos resultados, concluíram que a melhor qualidade do café foi obtida pela secagem combinada (com meia-seca em terreiro “híbrido” e complementação da secagem em silos), comparativamente à secagem em terreiro de concreto. Isto tudo, possivelmente, em virtude do menor tempo de secagem e a melhor distribuição de ar, garantindo a uniformidade da secagem e a independência das variações ambientais, que podem gerar processos fermentativos prejudiciais à qualidade do produto.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Especificações gerais e tratamentos

O presente estudo foi conduzido na Área Experimental do Departamento de Engenharia Agrícola, na Universidade Federal de Viçosa.

O secador foi avaliado com a secagem de café (*Coffea arabica* L.). Após a colheita, o café foi processado na forma cereja descascado, sendo posteriormente conduzido ao terreiro de concreto, para a realização da pré-secagem. Sequencialmente o produto foi conduzido até o secador desenvolvido para este estudo, onde foi avaliado todo o processo de secagem. O café foi proveniente de uma propriedade da Zona da Mata Mineira.

Os tratamentos foram assim definidos:

- Tratamento 01: 12 horas de secagem intermitente com revolvimento intermitente e 12 horas de repouso, com temperatura do ar de secagem de 45 °C. O secador foi operado por carga. Foram realizados revolvimentos da massa de grãos a cada 90 minutos de secagem, por um período de tempo de 10 minutos cada.
- Tratamento 02: 12 horas de secagem intermitente com revolvimento contínuo e 12 horas de repouso, com temperatura do ar de secagem de 70 °C. O secador foi operado por carga e a secagem foi realizada com mais de uma passagem dos grãos pelo secador.

Para cada tratamento foram realizados quatro testes de secagem, sendo que para cada teste foi também realizada a secagem da respectiva testemunha, em terreiro suspenso.

3.2 Secador de fluxos concorrentes e fluxos contracorrentes

3.2.1 Dimensionamento

Para o dimensionamento do sistema de secagem proposto, foram realizadas inicialmente algumas pressuposições.

A principal delas definiu o posicionamento dos dois estádios de secagem e também a separação destes por uma câmara de repouso. O fato de o produto ser submetido primeiramente ao estádio de secagem concorrentes, contribui para que não ocorra stress térmico na massa de grãos no início do processo. Ao sair do estádio de secagem concorrente, o produto entra na câmara de repouso, onde ocorrerá migração de umidade no grão. Esta migração de umidade, por sua vez, facilita a remoção de umidade da massa de grãos durante o processo de secagem. Ao sair dessa câmara, o café entra no estádio de secagem contracorrentes. Nesse momento, a massa de grãos estará com temperatura acima daquela com que entrou no secador devido ao fato de já ter passado pelo estádio de secagem concorrente. Como na secagem contracorrente boa parte da energia é gasta para aquecer o grão, contribuindo para a redução da eficiência do processo, nesse caso esta energia utilizada para aquecer o grão será menor, pelo fato de que o grão entra nesse estádio de secagem pré-aquecido, podendo propiciar melhores resultados de eficiência energética.

Optou-se pelo formato da base do secador quadrada em relação a circular, devido a maior facilidade de montagem do sistema e também em função do tipo das calhas de admissão e exaustão de ar, utilizados no secador.

A capacidade estática do secador foi definida em aproximadamente 1,50 m³, em função da disponibilidade de café para secagem e da facilidade de manuseio desta quantidade de produto.

Também foi definido que da capacidade estática do secador, 1/3 do produto deveria estar nos estádios de secagem, sendo submetido a uma vazão específica de ar de 20 m³ min⁻¹ m⁻³ de grãos, ambos valores extraídos de literatura. As calhas seriam invertidas em forma de V, semelhantes as utilizadas em secadores de torre, com ângulo interno de 60°. Como também definiu-se que no plenum de exaustão o ar seria conduzido por um duto de 0,30 m de diâmetro (diâmetro este usual em ventiladores comerciais), a abertura para a passagem de ar pelas calhas teve que ser ajustada para a mesma área, a fim de se evitar o estrangulamento do ar de exaustão. Com isto, também foi necessário verificar se o ar de exaustão não

atingiria velocidade maior do que a velocidade terminal do café cereja, evitando-se o arraste de grãos pelo ventilador.

Posteriormente foram calculadas as perdas de carga ocasionadas pelos dutos de admissão, pela altura da camada de grãos e pelos dutos de exaustão, para a definição do ventilador a ser utilizado e também a potência do motor acoplado ao ventilador. Tanto o cone de carga como o sistema de descarga foram calculados considerando-se o ângulo de repouso do café cereja descascado, a fim de favorecer o escoamento dos grãos.

Já em relação ao dimensionamento do elevador, foram realizados os cálculos conforme a metodologia proposta em SILVA et al. 2008b.

3.2.2 Detalhamento do protótipo

O sistema de secagem proposto possui os seguintes componentes:

- Secador (FIGURA 05);
- Fornalha;
- Ventilador centrífugo;
- Sistema de movimentação de grãos (elevador de caçambas); e
- Moega.

O protótipo do secador possui secção transversal de $0,56 \text{ m}^2$ ($0,75 \times 0,75 \text{ m}$), com capacidade estática de $1,55 \text{ m}^3$ de grãos. Esta capacidade corresponde a aproximadamente 700 kg de café cereja descascado meia-seca (massa específica aparente de 450 kg m^{-3}).

O sistema possui dois estádios de secagem: o primeiro de fluxos concorrentes e o segundo de fluxos contracorrentes, ambos utilizando um único ventilador centrífugo que faz sucção do ar de secagem (FIGURA 05).

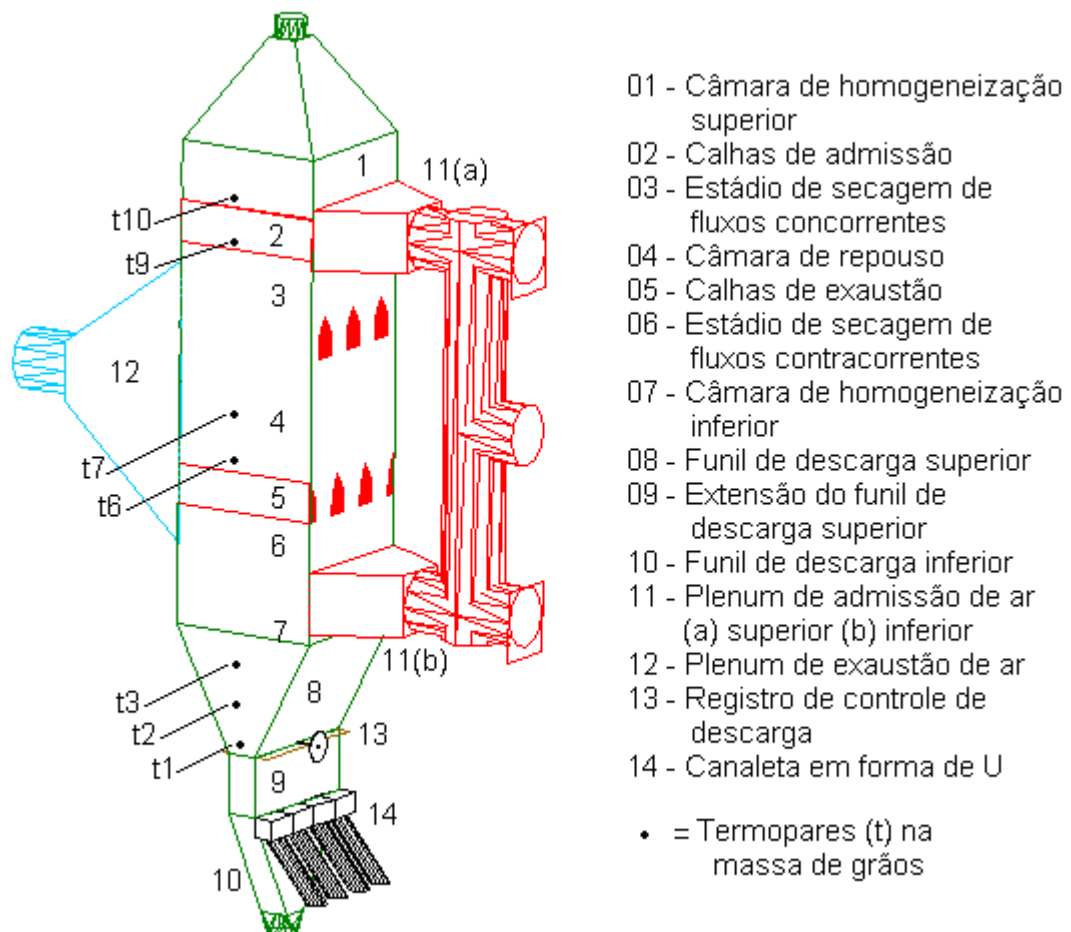


FIGURA 05. Protótipo do secador para secagem de café (croqui).

Entre os dois estádios de secagem existe uma câmara de repouso a fim de promover a migração de umidade no interior dos grãos. Todas as partes do secador foram construídas com chapas e perfis metálicos.

Detalhadamente, o secador projetado, conforme observa-se na FIGURA 05 foi composto por:

(1) Câmara de homogeneização superior: tem a finalidade de homogeneizar a distribuição da massa de grãos e fornecer resistência ao fluxo de ar (altura de 0,50 m e volume de $0,25 \text{ m}^3$). Acima se encontra o cone de carga, com altura de 0,50 m e volume de $0,11 \text{ m}^3$, que recebe o café proveniente do elevador.

(2) Calhas de admissão: calhas invertidas, em forma de V (semelhantes às calhas utilizadas em secadores de torre), as quais permitem a entrada do ar de secagem, têm altura de 0,20 m.

(3) Estádio de secagem de fluxos concorrentes: a espessura da coluna de produto, nesse estágio de secagem, é de 0,50 m, com volume de $0,25 \text{ m}^3$. Fazem parte deste estágio de secagem as calhas de exaustão.

(4) Câmara de repouso: tem como objetivo permitir a migração de umidade no interior do grão. Tem altura de 0,8 m e volume de 0,41 m³.

(5) Calhas de exaustão: calhas invertidas, em forma de V, as quais permitem a saída do ar de secagem, com altura de 0,20 m.

(6) Estádio de secagem de fluxos contracorrentes: a espessura da coluna de produto, nesse estágio de secagem é de 0,50 m, com volume de 0,25 m³. Fazem parte deste estágio de secagem as calhas de admissão, com altura de 0,20 m.

(7) Câmara de homogeneização inferior: localizada antes do sistema de descarga, com altura de 0,10 m e volume de 0,06 m³.

(8) Funil de descarga superior: com altura de 0,65 m, base superior de 0,75x0,75 m, base inferior de 0,15x0,75 m e volume de 0,22 m³. Em sua extremidade inferior fica o registro de controle de descarga do secador (FIGURA 06).

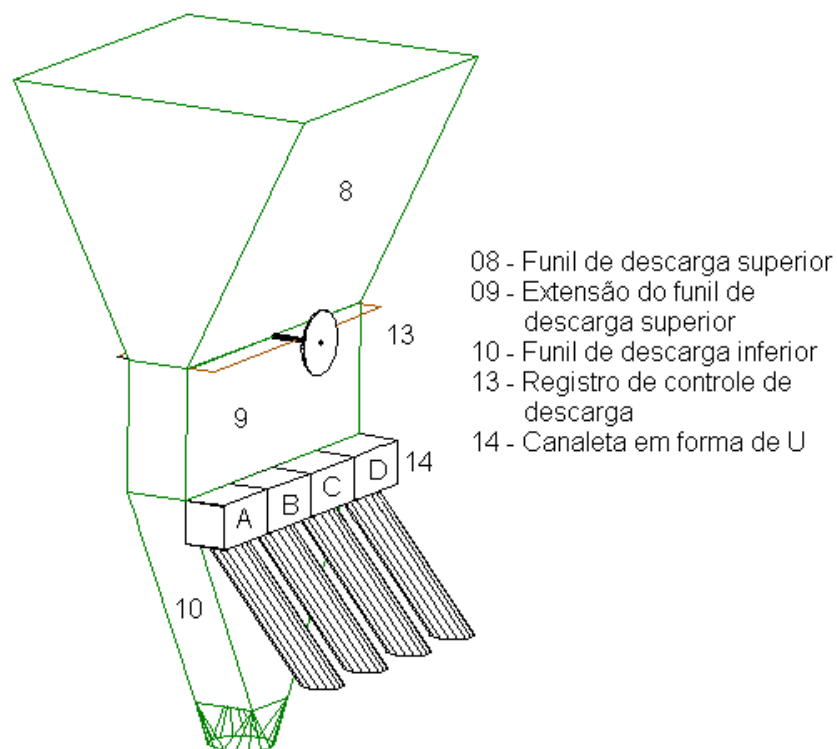


FIGURA 06. Detalhe do sistema de descarga.

(9) Extensão do funil de descarga superior: feito com a finalidade de auxiliar a coleta de amostras ao passarem pelo registro de descarga, equivalente a 4 amostras (A, B, C e D). Esta extensão tem altura de 0,30 m.

(10) Funil de descarga inferior: com altura de 0,55 m, tem como base um quadrado de 0,15x0,15 m. Abaixo desta encontra-se uma transição de

0,15x0,15 m para o diâmetro de 0,15 m, por onde passa o produto para alimentação do elevador.

Na FIGURA 07 estão ilustrados alguns componentes do secador. Na FIGURA 08 ilustram-se detalhes das calhas internas do secador e detalhe da construção do elevador de caçambas.

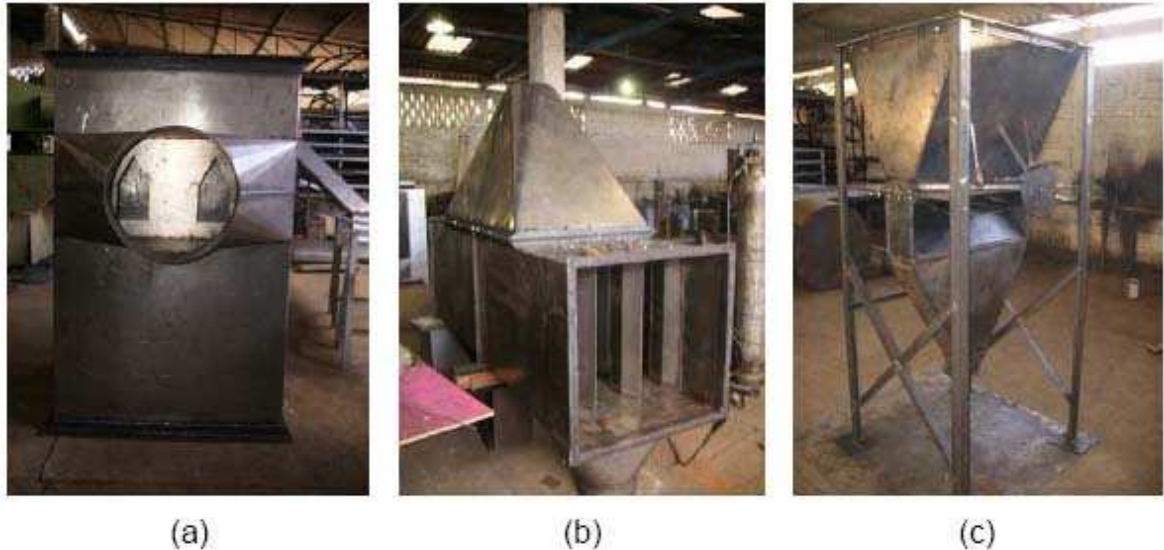


FIGURA 07. Alguns componentes do secador: (a) plenum superior e entrada de ar (estádio concorrente); (b) montagem do secador; (c) detalhes do sistema de descarga.



FIGURA 08. Detalhes das calhas internas do secador (a) e da construção do elevador de caçambas (b).

Na FIGURA 09 é ilustrada a montagem do sistema de secagem. Na FIGURA 10 estão ilustrados alguns dos componentes do sistema de secagem. Na FIGURA 11 pode-se observar o sistema de aquisição de dados.



(a)



(b)

FIGURA 09. Detalhes da montagem do sistema de secagem.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

FIGURA 10. Componentes do sistema de secagem: (a) moega e poço do elevador; (b) moega de descarga; (c) sistema de carga e descarga; (d) fornalha; (e) plenum de admissão superior e inferior; (f) plenum de exaustão.



(a)

(b)

FIGURA 11. Sistema de aquisição de dados (a) e módulos seriais (b).

Na FIGURA 12 estão ilustrados os terreiros suspensos utilizados para a secagem das testemunhas.



(a)

(b)

FIGURA 12. Detalhes dos terreiros suspensos utilizados para secagem das testemunhas.

3.2.3 Funcionamento do sistema de secagem

O funcionamento do sistema de secagem proposto encontra-se descrito a seguir, dividido em três fases: (a) recepção e carregamento; (b) secagem e (c) descarregamento e expedição.

a) Recepção e carregamento

O café recebido foi descarregado na moega e carregado no secador, por meio de um elevador de caçambas (FIGURA 13 (a)). A limitação da quantidade de café para cada teste foi realizada por meio de uma tampa de inspeção superior, localizada no cone de carga (FIGURA 13 (b)).



FIGURA 13. Café colocado na moega (a) e secador cheio de produto (b).

b) Secagem

Posteriormente ao carregamento, o sistema de aquisição de dados foi acionado para coleta de dados de temperatura em intervalos de um minuto. Procedeu-se o acendimento do carvão vegetal da fornalha, operada a fogo direto. Posteriormente, o café foi posto em movimento dentro do secador por aproximadamente 5 minutos, momento no qual foi realizada a amostragem, com a coleta de quatro amostras (A, B, C e D), conforme é ilustrado na FIGURA 06, e determinado o fluxo de grãos no secador.

As amostras A, B, C e D foram coletadas em recipientes plásticos com capacidade de 7,7 litros, por um período de tempo de 8 segundos, e tiveram sua massa determinada em uma balança analógica, com capacidade de 5 kg. Partes destas amostras foram utilizadas na determinação da temperatura da massa de grãos na saída do secador. O restante das amostras foram conduzidas ao laboratório de grãos. Até que a temperatura do ar de secagem atingisse os valores preconizados nos tratamentos, foi necessário um curto período de tempo de funcionamento do sistema. Deste modo, o início da coleta de dados da secagem foi realizado a partir dos primeiros 20 minutos de funcionamento do ventilador.

O controle da temperatura tanto no plenum superior como no plenum inferior do secador foi realizados manualmente, por meio do manejo da fornalha (onde haviam três entradas de ar primário), a partir da visualização da temperatura em um leitor digital conectado a um termopar posicionado no plenum superior. As medidas de temperatura fornecidas pelo termômetro digital representaram leituras instantâneas. Já as medidas registradas no computador, por meio do sistema de aquisição de dados, apresentavam apenas dados de minuto em minuto, dificultando o manejo da fornalha. Optou-se pelo controle da temperatura pelo termopar porque, caso o controle de temperatura fosse realizado pelo sistema de aquisição de dados, acabaria permitindo maiores oscilações de temperatura do ar de secagem.

Na FIGURA 14 está ilustrado o funcionamento da fornalha e do secador. Na FIGURA 15 observa-se o sistema de coleta de amostras e o termômetro digital utilizado para o controle de temperatura do ar de secagem.

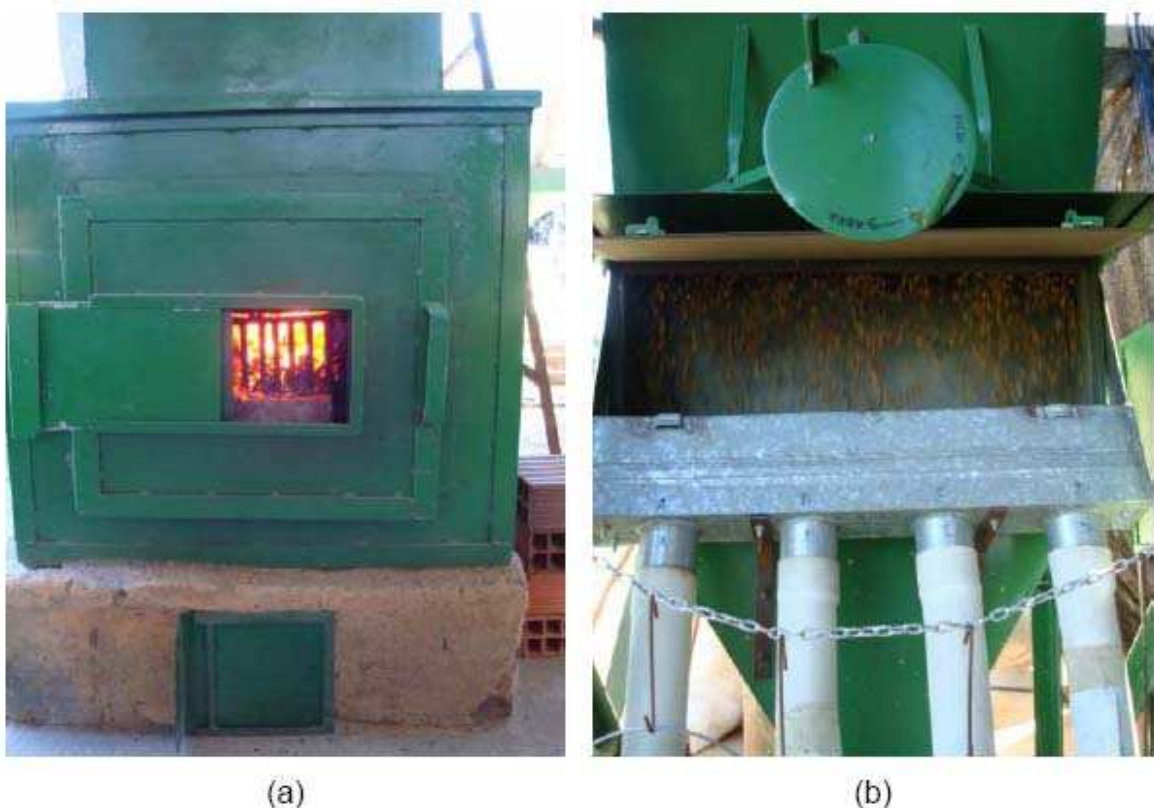


FIGURA 14. Ilustração do funcionamento da fornalha (a) e do sistema de descarga do secador (b).



(a)



(b)

FIGURA 15. Sistema de coleta de amostras (a) e termômetro digital para o controle de temperatura do ar de secagem (b).

c) Descarregamento e expedição

Após o término da secagem, foi realizado novamente o procedimento de amostragem. Posteriormente, o café foi descarregado do secador e ensacado.

Na FIGURA 16 observa-se o ensacamento de produto durante a descarga do secador.



FIGURA 16. Ensacamento de café durante a descarga.

3.2.4 Monitoramento das variáveis

Dados de temperatura do ar ambiente, umidade relativa do ar ambiente e umidade relativa do ar de exaustão foram registrados no instante da coleta das amostras, a partir de um termo-higrômetro digital.

As temperaturas do ar de secagem no plenum superior e no plenum inferior e do ar de exaustão foram coletadas por meio de termopares tipo “T”, conectados ao sistema de aquisição de dados. Os resultados apresentados referem-se a média de 20 leituras, equivalentes a 10 leituras antes e 10 leituras após a hora de coleta das amostras de grãos. Os dados da temperatura do ar de exaustão referem-se a média de 10 leituras antes da realização do revolvimento da massa de grãos.

O monitoramento da temperatura na massa de grãos dentro do secador foi realizado nos pontos onde não havia a movimentação de ar na massa de grãos. Na FIGURA 05 (item 3.2.1) estão ilustrados os pontos onde foram dispostos os termopares na massa de grãos. Os pontos de leitura 1, 2 e 3 equivalem aos pontos antes da descarga, após o estágio de secagem contracorrente (parte inferior do secador). Os pontos 6 e 7 referem-se aos grãos no estágio de repouso, entre os dois estágios de secagem. Os pontos 9 e 10 equivalem aos grãos acima do estágio de secagem concorrente (parte superior do secador).

A temperatura da massa de grãos na saída do secador foi medida colocando-se as amostras em recipientes fechados, de material isolante (garrafas de isopor), no qual se encontrava disposto no centro do recipiente um termopar tipo “T”. A temperatura da massa de grãos dentro do secador também foi monitorada com o uso de termopares. Os dados de temperatura foram coletados de minuto em minuto. Os resultados representam a temperatura máxima média atingida pela massa de grãos, em cada recipiente de isopor (A, B, C e D).

A determinação do teor de água foi realizada conforme as orientações contidas em Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 1992), pelo método direto, em estufa com circulação forçada de ar, a 105 ± 3 °C durante 24 horas. Em função do tempo necessário para obtenção destes resultados, mediu-se o teor de água das amostras pelo método indireto utilizando um equipamento cujo princípio se baseia na capacitância elétrica. A finalidade deste procedimento foi obter leituras imediatas para auxiliar na determinação do momento exato do fim do processo de secagem.

3.3 Estudo das características qualitativas

3.3.1 Características físicas

Para avaliação das características da massa de grãos para os tratamentos, as amostras foram coletadas no início do processo de secagem, durante a secagem, em intervalos regulares de 3 em 3 horas, após os períodos de repouso e no final do processo de secagem. Para cada amostragem foram retiradas quatro amostras (A, B, C e D) da massa de grãos na saída do secador, pelo sistema de descarga. As amostras das testemunhas foram coletadas no início da secagem, ao final de cada dia de exposição a radiação solar e no final da secagem. Para cada amostragem foram retiradas três amostras.

3.3.1.1 Massa específica aparente

A determinação da massa específica aparente foi realizada com o auxílio de uma balança de peso hectolítrico, com capacidade de 1 litro (BRASIL, 1992).

3.3.1.2 Porcentagem de impurezas

A determinação da porcentagem de impureza foi realizada por meio da separação das matérias estranhas e impurezas presentes na amostra, baseando-se em procedimentos padrões efetuados pelas cafeeiras da região da Zona da Mata Mineira. Colocou-se uma amostra de 100 gramas de café cereja descascado sobre uma peneira 10 (com furos redondos de 4 mm de diâmetro), tendo abaixo dela o fundo plano. Após movimentar o produto sobre a peneira, procedeu-se a catação das matérias estranhas e impurezas encontradas e sua separação da amostra. Também, o produto que passou pela peneira 10 foi pesado e considerado como impureza. Posteriormente foi efetuado o cálculo da porcentagem de impureza.

3.3.1.3 Danos no pergaminho

Também foi avaliado o efeito do processo de secagem sobre danos no pergaminho dos grãos de café. Como não foram encontrados na literatura referências das quais tratassem deste assunto, foram analisados visualmente, em amostras de aproximadamente 50 gramas, os grãos que apresentavam o pergaminho integral, pergaminho danificado e os grãos sem pergaminho. Para cada classificação foi determinada a respectiva massa, em uma balança digital

com resolução de duas casas decimais. Posteriormente, os resultados foram convertidos em porcentagem.

Na FIGURA 17 estão ilustradas as peneiras utilizadas para a determinação do índice de impureza e a avaliação do dano no pergaminho na massa de grãos.



FIGURA 17. Peneiras utilizadas para a determinação do índice de impureza (a); avaliação de danos no pergaminho na massa de grãos (b).

3.3.1.4 Peso de mil grãos

Amostras de café beneficiado foram submetidas a avaliação do peso de mil grãos, determinado conforme metodologia descrita em Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 1992). A amostra de trabalho consistiu de oito repetições de 100 grãos (inteiros e sadios visualmente), contadas manualmente e ao acaso, que tiveram o pergaminho removido, fazendo-se o uso de um descascador. Em seguida, pesou-se cada repetição em uma balança digital com precisão de duas casas decimais. Em relação ao cálculo e as informações sobre os resultados, conforme descreve a metodologia, calculou-se a variância, o desvio-padrão e o coeficiente da variação dos valores obtidos nas pesagens, conforme EQUAÇÕES 01, 02 e 03.

$$s^2 = \frac{n(\sum x^2) - (\sum x)^2}{n(n-1)} \quad (01)$$

$$s = \sqrt{s^2} \quad (02)$$

$$CV = \frac{s}{\bar{x}} \cdot 100 \quad (03)$$

em que

- s^2 = variância;
 n = número de repetições;
 x = peso de cada repetição (gramas);
 s = desvio padrão;
 CV = coeficiente de variação, %; e
 \bar{x} = peso médio de 100 grãos.

Caso o coeficiente de variação não exceda a 4%, o resultado da determinação pode ser calculado multiplicando-se por 10 o peso médio obtido das repetições de 100 grãos. O resultado foi expresso em gramas com o número de casas decimais correspondente às utilizadas nas pesagens menos uma, fazendo-se a devida aproximação final.

3.3.1.5 Análise de cor

A quantificação da cor foi realizada por meio de um colorímetro modelo Color Quest XE, da Hunter Lab., conectado a um computador provido de um Programa Computacional Universal. As amostras foram compostas por grãos de café inteiros e beneficiados, sendo lidas diretamente por refletância (colocadas em cubeta de vidro), utilizando-se a escala CIELAB, de coordenadas L^* , a^* e b^* , com as seguintes representações: coordenada L^* (índice de luminosidade), coordenada de cromaticidade a^* (-a verde, +a vermelho) e a coordenada de cromaticidade b^* (-b azul, +b amarelo). Posteriormente, foram calculados os valores de C (croma ou índice de saturação da cor) e h° (ângulo de matiz ou tonalidade da cor), conforme EQUAÇÕES 04 e 05 (LITTLE, 1975; FRANCIS, 1975; e McGUIRE, 1992).

$$C = (a^2 + b^2)^{1/2} \quad (04)$$

$$h^\circ = \tan^{-1} b / a \quad (05)$$

em que

C = croma ou índice de saturação da cor;

a, b = coordenadas; e

h° = ângulo de matiz ou tonalidade da cor.

3.3.2 Características químicas

3.3.2.1 Condutividade elétrica

Procedeu-se a realização da análise de condutividade elétrica da solução de embebição dos grãos de café pelo sistema conhecido como “condutividade de massa” ou “sistema de copo” (VIEIRA, 1994). Cada repetição, contendo 50 grãos inteiros e sadios, foi pesada em balança digital com resolução centesimal e, a seguir, colocada para embeber em copo plástico (200 ml) contendo 75 ml de água deionizada, e então mantida em ambiente à temperatura de 25 °C durante 24 horas. Após o período de 24 horas, realizou-se a leitura da condutividade elétrica na solução de embebição, fazendo-se uso de um condutímetro de marca Marte e modelo MB-11 (FIGURA 18). Antes da realização das leituras, o aparelho foi calibrado com uma solução de Cloreto de Potássio (KCl), de leitura conhecida, a 25 °C. O resultado da leitura obtido no aparelho, em $\mu\text{S cm}^{-1}$, foi dividido pela massa de café da amostra, em gramas. Deste modo, o resultado final da condutividade elétrica foi expresso com base na massa da amostra, ou seja, $\mu\text{S cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$.

3.3.2.2 Lixiviação de potássio

Após a leitura da condutividade elétrica, a solução de embebição dos grãos em água deionizada foi vertida em pequenos recipientes plásticos, dos quais foram removidas alíquotas para determinação da quantidade de potássio lixiviado, conforme PRETE (1992). Estas alíquotas foram diluídas em água destilada, a uma proporção de 50 vezes. Isto em virtude de questões técnicas de limitação de leitura do aparelho, o fotômetro de chama (FIGURA 18). Houve também a necessidade da realização de uma curva de calibração, com a utilização de uma solução padrão, sendo posteriormente as leituras corrigidas em função desta curva. Os resultados das leituras realizadas no fotômetro de chama foram expressos em miligramas por litro ($\text{mg L}^{-1} = \text{ppm}$). Levando-se em consideração a massa de grãos para elaboração da solução de embebição, os resultados finais foram expressos em ppm g^{-1} , dividindo-se os resultados da leitura do fotômetro de chama (corrigida pela curva de calibração) pela massa de grãos utilizada.



(a)



(b)

FIGURA 18. Equipamentos utilizados na determinação da análise química: (a) condutivímetro; (b) fotômetro de chamas.

3.3.3 Classificação do café

A classificação oficial da qualidade do café vigente no Brasil está baseada na Instrução Normativa nº 8, de 11 de junho de 2003, a qual aprova o Regulamento Técnico de Identidade e de Qualidade para a Classificação do Café Beneficiado Grão Cru (BRASIL, 2003). Para Execução de tal procedimento, amostras foram encaminhadas a um classificador devidamente especializado, que atua junto a 3 Irmãos Corretora de Café.

3.3.3.1 Análise sensorial (prova-de-xícara)

Conforme procedimento realizado pelo degustador, a classificação da bebida foi definida em função da nota atribuída à bebida, respeitando os seguintes limites: nota igual ou maior que 86 refere-se a bebida estritamente mole; nota entre 80-85 refere-se a bebida mole; nota entre 75-79 refere-se a bebida apenas mole; nota igual ou menor que 74 refere-se a bebida dura.

3.3.3.2 Determinação do tipo

A determinação do tipo foi realizada com base na determinação dos defeitos das amostras e da utilização da Tabela de Classificação do Café Beneficiado Grão Cru, em função do defeito/tipo, conforme Instrução Normativa nº 8, de 11 de junho de 2003 (BRASIL, 2003).

3.3.3.3 Classificação por peneiras

A classificação por peneiras foi realizada conforme Padrão Comercial da região de Viçosa - MG. No QUADRO 01 está demonstrada a comparação da

classificação por peneiras recomendada pela Instrução Normativa nº 8 e o Padrão Comercial adotado na região de Viçosa - MG.

Após realizada a classificação por peneiras, determinou-se a porcentagem de grãos enquadrados como “bica corrida”, caracterizado pela soma do café classificado acima da peneira chato 13 ou, neste caso, moca 10. Outra característica importante referente a comercialização é o fato de que o café caracterizado como “bica corrida”, por sua vez, deve conter um percentual mínimo de café retido acima da peneira chato 17, equivalente a 35%. A porcentagem de quebra foi determinada em função da soma da porcentagem de fundo plano com a catação.

QUADRO 01. Classificação do café por peneiras, conforme Instrução Normativa e o Padrão Comercial adotado na região de Viçosa - MG

Peneiras	
Instrução Normativa nº 8	Padrão Comercial Regional
19 = chato	12 = moca
13 = moca	18 = chato
18 = chato	11 = moca
12 = moca	17 = chato
17 = chato	16 = chato
11 = moca	10 = moca
16 = chato	Fundo Plano
10 = moca	
15 = chato	
9 = moca	
14 = chato	
13 = chato	
8 = moca	
10 = chato	
Fundo Plano	

3.4 Estudo da eficiência energética

A avaliação energética do sistema foi realizada conforme a metodologia descrita por Bakker-Arkema, citada por SILVA et al. (1992), na qual é calculado o consumo específico de energia. Em relação a duração dos testes, esta metodologia descreve que para secadores em lotes são necessários três testes e

no mínimo 24 horas de funcionamento para os secadores contínuos. Os parâmetros determinados durante a realização dos testes foram:

- a) dos grãos - umidade inicial e final (% b.u.); temperatura inicial e final (°C); massa específica aparente inicial e final (kg m^{-3}); massa de produto úmido (kg); massa de água evaporada (kg); porcentagem de impureza final (%);
- b) do ar - temperatura do ar ambiente (°C); umidade relativa do ar ambiente (%); temperatura do ar de secagem, no plenum superior e inferior (°C); temperatura do ar de exaustão (°C); umidade relativa do ar de exaustão (°C);
- c) do secador - volume total do secador (m^3); volume de cada câmara de secagem (m^3); vazão do ar de exaustão ($\text{m}^3 \text{min}^{-1}$); vazão específica de ar ($\text{m}^3 \text{min}^{-1} \text{m}^{-3}$); vazão mássica de grãos (kg min^{-1}); pressão estática no plenum de exaustão (mmca); tempo de carregamento (min); tempo de descarregamento (min); tempo de operação do elevador (h); tempo de operação do ventilador (h);
- d) da energia – consumo de combustível por teste (kg); poder calorífico inferior do combustível úmido (kJ kg^{-1}); consumo de energia do ventilador e do elevador, por teste (kJ);
- e) do desempenho – tempo total de secagem (h); tempo efetivo de secagem (h); números de períodos de repouso; umidade removida (% b.u.); e consumo específico de energia para a secagem, com e sem energia elétrica (kJ kg^{-1} de água evaporada).

O café teve sua massa determinada por meio de uma balança rodoviária, de capacidade de até 20 toneladas. O tempo total de secagem, efetivo de secagem, de carregamento e descarregamento foram determinados por meio do uso de um cronômetro digital.

A vazão do ar de secagem foi determinada por meio da medida da velocidade do ar no duto de exaustão, fazendo uso de um anemômetro de pás, e da respectiva área do duto de exaustão (FIGURA 19).



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

FIGURA 19. Equipamentos utilizados para a coleta de dados: (a) anemômetro de pás; (b) termo-higrômetro digital; (c) manômetro digital; (d) determinador de umidade (método indireto); balança de 250 kg (e).

A determinação da vazão mássica de grãos no secador foi realizada por meio do duto de descarga de café, acoplado ao elevador de caçambas, que conduzia o café até a moega de descarga, onde foi ensacado em sacos de polietileno. Procedeu-se então a determinação da massa de grãos, fazendo-se o uso de uma balança de capacidade de 250 kg e resolução de 50 gramas (FIGURA 19). O tempo de coleta de produto foi 20 segundos. A pressão estática no plenum de exaustão foi medida por meio do uso de um manômetro digital (FIGURA 19).

O consumo de energia dos motores elétricos (ventilador e elevador) foi calculado por meio das curvas características dos motores, para as condições de operação correlacionadas a tensão e a corrente (medidas com o uso de um multímetro alicate), levando-se em consideração o tempo de funcionamento de cada motor.

Também foi monitorado o consumo de carvão vegetal pela fornalha, operada a fogo direto, o qual teve a massa determinada por meio do uso de uma balança de capacidade de 250 kg, com resolução de 50 gramas. Amostras do carvão foram coletadas, e encaminhadas ao Laboratório de Energia da Madeira, no Departamento de Engenharia Florestal da UFV. A partir destas amostras foi determinado o poder calorífico superior (PCS) do carvão e sua respectiva umidade. O poder calorífico inferior do combustível seco (PCI) foi determinado a partir da EQUAÇÃO 06 (BAZZO, 1995). A composição elementar considerada do carvão foi a citada por LOPES (2002), onde foram citados valores para o Carbono, Hidrogênio e Oxigênio de 82,70, 3,80 e 13,50% (base seca), respectivamente.

$$PCI = PCS - h_v (9 H_2) \quad (06)$$

em que

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

PCS = Poder calorífico superior, kJ.kg^{-1} combustível;

h_v = entalpia de vaporização da água, kJ.kg^{-1} de água na temperatura de referência de 25 °C, equivalente a 2.440; e

$9 H_2$ = parcela de vapor d'água formado pela combustão do hidrogênio, onde H_2 representa a fração de hidrogênio do combustível, em kg.kg^{-1} combustível seco.

Com base no combustível úmido, o poder calorífico inferior foi corrigido para a composição elementar na base úmida (PCI_u) considerando a umidade presente no combustível, de acordo com a EQUAÇÃO 07 (CAMARGO, 1990).

$$PCI_u = PCS(1 - U_{bu}) - h_v [9H_2(1 - U_{bu}) + U_{bu}] \quad (07)$$

em que

PCI_u = poder calorífico inferior úmido, kJ.kg^{-1} combustível úmido; e

U_{bu} = fração de água, kg.kg^{-1} combustível úmido;

A massa de água removida durante o processo de secagem foi calculada utilizando-se a EQUAÇÃO 08. O consumo específico de energia foi determinado utilizando-se a EQUAÇÃO 09, que representa a quantidade de energia por unidade de água evaporada dos grãos. Para o cálculo do consumo específico de energia sem energia elétrica, esta foi desconsiderada.

$$M_a = m_i \cdot (U_i - U_f) / (100 - U_f) \quad (08)$$

$$\eta_{\text{energ}} = [(C_{\text{comb}} \cdot PCI_u) + C_e] / M_a \quad (09)$$

em que

M_a = massa de água evaporada, kg;

m_i = massa de produto inicial, kg;

U_i = umidade inicial do produto, % b.u.;

U_f = umidade final do produto, % b.u.;

η_{energ} = consumo específico de energia, em kJ kg^{-1} água evaporada;

C_{comb} = consumo de combustível na secagem, kg;

C_e = consumo de energia elétrica, kJ (1 kWh = 3.600 kJ).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Secador de fluxos concorrentes e contracorrentes

4.1.1 Temperatura do ar ambiente, ar de secagem, ar de exaustão, umidade relativa do ar ambiente e ar de exaustão

Para melhor discutir e ilustrar os dados, foram selecionados para cada tratamento um teste, ambos com umidade inicial semelhante, e estes representados graficamente. NA FIGURA 20 ilustra-se os dados de temperatura e umidade relativa do ar para o teste 04, relativo ao tratamento 01, em função do tempo. Na FIGURA 21 ilustram-se os dados do teste 06, relativo ao tratamento 02, em função do tempo. O intervalo sem dados, observado no eixo x de ambas as figuras, corresponde ao período de repouso utilizado. Nas figuras a seguir, T ambiente = temperatura do ar ambiente; T P Superior = temperatura do plenum superior; T P Inferior = temperatura do plenum inferior; T Exaustão = temperatura do ar de exaustão; UR Ambiente = umidade relativa do ar ambiente; UREx Antes Rev = umidade relativa do ar de exaustão antes do revolvimento; UREx Após Rev = umidade relativa do ar de exaustão após o revolvimento.

Os resultados relativos ao demais testes encontram-se apresentados no Apêndice (QUADROS 01A até 06A).

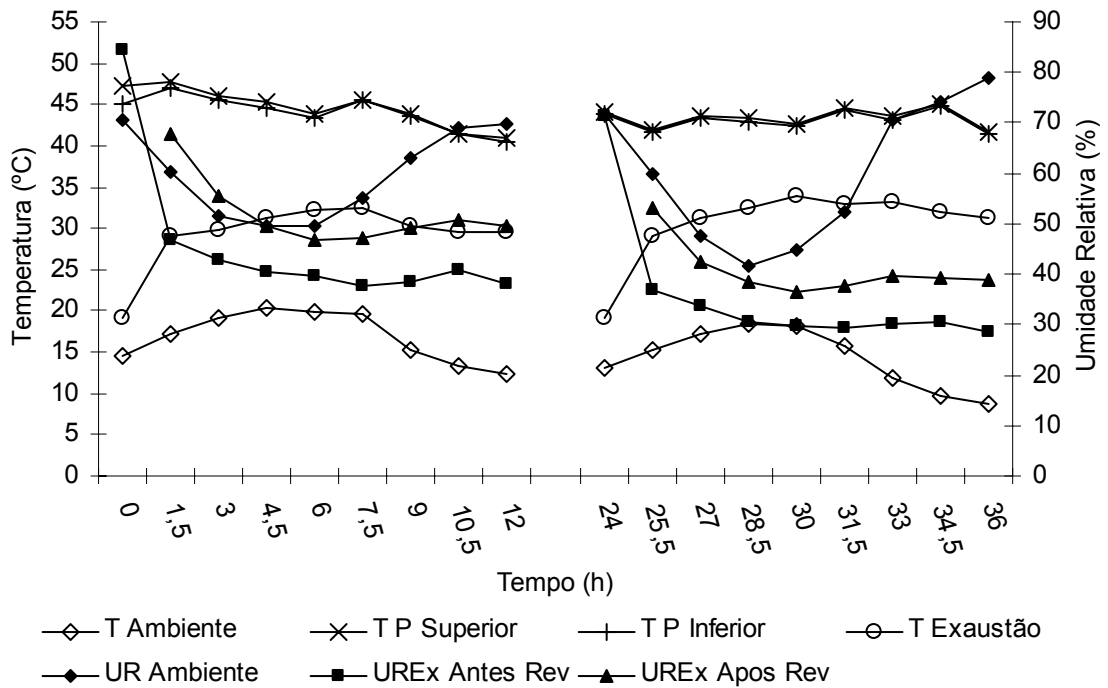


FIGURA 20. Variação da temperatura e da umidade relativa do ar em diferentes pontos no sistema, durante o teste 04 (tratamento 01).

A temperatura média observada no plenum superior e no plenum inferior foi de 44,0 e 43,6 °C, respectivamente, caracterizando os 45 °C preconizados para o tratamento 01. Pela FIGURA 20, pode-se notar que as variações de temperatura ocorridas nestes dois pontos do sistema foram pequenas.

A umidade relativa do ar de exaustão foi decrescente ao longo do processo de secagem da massa de grãos, resultado este esperado em função da secagem. Observou-se também uma diferença de aproximadamente 10 pontos percentuais entre a leitura realizada antes e após a realização do revolvimento da massa de grãos. Pode-se observar que no final do processo de secagem a umidade relativa do ar de exaustão antes do revolvimento atingiu valores próximos de 29 e 30%.

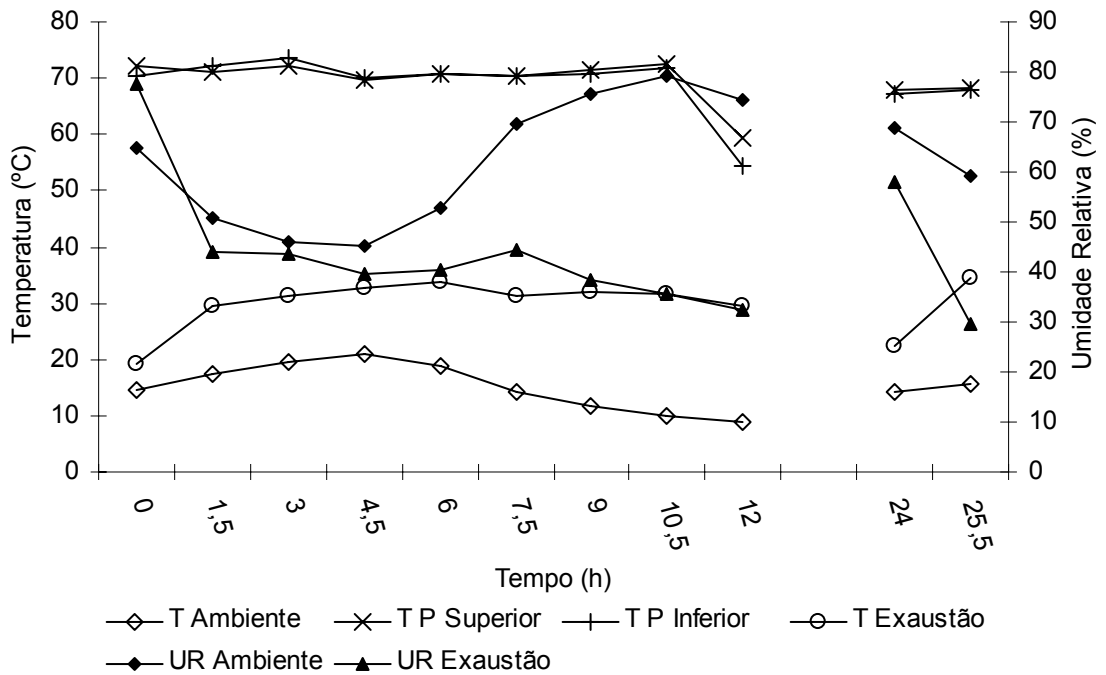


FIGURA 21. Variação da temperatura e da umidade relativa do ar em diferentes pontos no sistema, durante o teste 06 (tratamento 02).

A temperatura média observada no plenum superior e no plenum inferior foi de 69,6 e 69,0 °C, respectivamente, caracterizando os 70 °C preconizados para o tratamento 02. Pela FIGURA 21 pode-se notar uma redução da temperatura do ar de secagem ao final das primeiras 12 horas, justificada pelo fim do combustível na fornalha. Mesmo assim, cabe aqui ressaltar a excelente funcionalidade do gerador de calor utilizado, em que foram atingidos os valores de temperatura do ar de secagem requeridos, com pequenas variações.

A temperatura do ar de exaustão apresentou resultado médio de 33,5 °C, sendo que ao longo do processo de secagem foi observado o aumento da mesma. Já a umidade relativa do ar de exaustão foi reduzindo ao longo do processo de secagem, resultado este esperado em função do processo de secagem, sendo observado no final do processo de secagem umidade relativa próxima a 29%. Este resultado foi semelhante ao observado no tratamento 01.

Os dados de temperatura média do ar ambiente e umidade relativa média do ar ambiente foram respectivamente de 15,5 °C e 60% e 15,1 °C e 62,4%, para os testes 04 e 06, respectivamente.

Resumidamente, pode-se observar que o gerador de calor atendeu satisfatoriamente às necessidades requeridas de temperatura do ar de secagem tanto para o tratamento 01 quanto para o tratamento 02. Além disto, pode-se

notar que as condições do ar ambiente em que foram realizados os testes foram bastante semelhantes para ambos tratamentos. Outra observação importante refere-se ao fim do processo de secagem para o tratamento 01 e 02, que pode ser caracterizado quando a umidade relativa do ar de exaustão atingiu valores entre 29 e 30%.

4.1.2 Temperatura da massa de grãos dentro do secador

Os dados relativos ao QUADRO 02 descrevem os resultados médios da temperatura da massa de grãos dentro do secador, para o teste 04 (tratamento 01), em função do tempo de secagem.

Cabe aqui ressaltar que estes dados não expressam os valores da máxima temperatura da massa de grãos atingidos durante o processo de secagem, em função da mistura de grãos. Mesmo assim, foram encontrados valores de temperatura para a massa de grãos, ao final do processo de secagem, de 31,8 e 32,2 °C.

Os dados relativos ao QUADRO 03 descrevem os resultados médios da temperatura da massa de grãos, em função do tempo, para o teste 06 (tratamento 02). Os resultados relativos aos demais testes encontram-se apresentados no Apêndice (QUADROS 07A até 12A).

QUADRO 02. Resultados médios de temperatura da massa de grãos no secador, relativos ao teste 04 (tratamento 01), em função do tempo de secagem

Tempo (h)	Pontos de leitura no secador						
	1	2	3	6	7	9	10
0	14,8	13,3	13,5	15,5	15,2	14,5	14,0
1,5	17,9	18,1	21,0	28,2	24,6	24,4	22,2
3	20,7	21,2	23,2	27,6	25,2	23,3	22,0
4,5	25,3	28,7	28,7	28,7	28,6	23,8	24,3
6	24,6	26,5	27,4	29,8	28,6	26,0	25,8
7,5	24,9	26,8	28,1	28,4	27,2	26,1	24,2
9	24,7	26,4	27,3	24,1	23,0	24,7	23,8
10,5	21,8	25,7	27,0	25,1	24,5	25,1	23,2
12	19,2	25,1	28,4	26,4	25,4	21,6	16,9
Repouso	----	----	----	----	----	----	----
24	12,3	12,4	14,7	16,9	11,8	13,6	13,6
25,5	19,1	20,9	23,8	23,3	21,9	23,0	20,9
27	23,7	26,0	25,7	28,3	26,3	24,2	22,0
28,5	25,4	26,6	28,3	27,8	27,1	26,3	25,2
30	24,9	28,0	28,6	30,9	29,4	27,7	25,2
31,5	24,1	31,7	31,4	30,5	30,5	25,6	18,9
33	23,7	28,3	29,4	29,6	27,1	21,2	13,8
34,5	22,0	28,2	28,5	29,7	26,3	24,1	14,1
36	24,9	32,2	31,8	28,7	28,2	21,3	11,9

QUADRO 03. Resultados médios de temperatura da massa de grãos no secador, relativos ao teste 06 (tratamento 02), em função do tempo de secagem

Tempo (h)	Pontos de leitura no secador						
	1	2	3	6	7	9	10
0	22,2	24,0	25,0	23,1	21,6	19,6	19,8
1,5	34,5	35,6	36,5	34,9	34,6	32,8	25,9
3	36,2	37,2	38,7	35,9	35,5	35,0	28,4
4,5	38,7	39,9	41,2	36,7	36,4	36,3	32,6
6	39,9	41,4	42,8	37,5	37,2	38,7	36,0
7,5	36,6	37,9	39,1	35,8	35,4	34,1	24,8
9	37,5	38,8	39,8	38,1	37,7	35,3	30,7
10,5	37,9	38,9	40,0	37,3	37,0	34,8	27,8
12	36,7	38,1	39,0	37,7	37,2	35,2	26,0
Repouso	----	----	----	----	----	----	----
24	26,1	27,0	27,8	26,0	25,6	24,6	22,4
25,5	42,7	43,2	44,9	40,7	40,3	38,7	30,0

Foi observado maiores valores de temperatura no ponto de leitura 03, localizado logo abaixo do estádio de secagem contracorrente. Neste ponto de leitura, a temperatura atingiu o valor médio máximo de 44,9 °C. Cabe aqui

ressaltar que, conforme VILELA (1997), o valor máximo tolerado para a temperatura da massa do café sem prejudicar a qualidade do café é de 45 °C. Observou-se também que os menores valores foram observados no ponto de leitura 10, local onde os grãos são descarregados do elevador de caçambas no secador.

Referente à temperatura da massa de grãos monitorada dentro do secador, nos locais onde o ar não atravessava a massa de grãos, pode-se afirmar que os resultados relativos ao tratamento 01 não expressam os reais valores de temperatura atingidos pela massa de grãos. Deste modo, existe a necessidade de elaboração de outra metodologia para avaliação desta temperatura. Entretanto, é sabido que em secagem estacionária a temperatura da massa de grãos atinge valores próximos ou iguais a temperatura do ar de secagem e que, neste caso, situa-se dentro do limite permitido para a secagem de café.

Relativo ao tratamento 02 convém citar que a massa de grãos atingiu valores de temperatura muito próximos ao máximo permitido no final do processo de secagem. Deste modo, para as mesmas condições em que foi realizado o tratamento 02 (vazão mássica de grãos e vazão de ar), pode-se recomendar que a temperatura do ar de secagem não ultrapasse 70 °C, a fim de evitar danos qualitativos a massa de grãos. Entretanto, é sabido que no início do processo de secagem poderiam ser utilizadas temperaturas maiores que 70 °C devido as altas taxas evaporativas e a baixa temperatura inicial dos grãos. Para a aplicação de tal recomendação, devem ser realizadas novas avaliações, a fim de se verificar os valores de temperatura da massa de grãos em função da elevação de temperatura do ar de secagem e da umidade da massa de grãos.

4.1.3 Temperatura da massa de grãos na saída do secador

A temperatura da massa de grãos na saída do secador pode ser observada nos QUADROS 04 e 05, para os tratamentos 01 e 02, respectivamente.

QUADRO 04. Resultados médios para a máxima temperatura da massa de grãos observada, na saída do secador, para o tratamento 01¹

Teste 02			Teste 03			Teste 04			Teste 09		
t (h)	Temp. média (°C)	D.P.	t (h)	Temp. média (°C)	D.P.	t (h)	Temp. média (°C)	D.P.	t (h)	Temp. média (°C)	D.P.
0,0	16,1	0,2	0,0	13,0	0,1	0,0	15,3	0,2	0,0	13,0	0,3
3,0	25,5	0,6	3,0	22,5	1,2	3,0	24,1	2,0	3,0	23,1	0,5
6,0	24,4	1,0	6,0	23,8	0,9	6,0	27,9	1,4	6,0	28,3	1,0
9,0	20,7	2,0	9,0	20,3	0,9	9,0	25,1	2,5	9,0	21,3	1,2
12,0	23,8	1,0	12,0	23,8	0,5	12,0	22,1	1,4	12,0	18,3	1,3
R	----	----	R	----	----	R	----	----	R	----	----
24,0	19,1	0,7	24,0	19,5	2,1	24,0	17,0	1,5	24,0	14,9	1,8
27,0	26,8	2,0	27,0	26,8	0,9	27,0	27,0	0,6	27,0	25,8	1,6
30,0	26,1	1,4	30,0	27,8	0,5	30,0	28,9	0,6	30,0	29,3	1,1
33,0	24,0	0,8	33,0	27,0	0,7	33,0	26,5	0,8	33,0	29,9	0,4
			36,0	21,6	0,6	36,0	23,5	1,7	36,0	27,9	0,4
			R	----	----				R	----	----
			48,0	22,0	2,0				48,0	12,1	0,4
			51,0	25,0	0,7				51,0	28,7	0,4
			54,0	28,0	0,8						
			57,0	25,6	2,2						

⁽¹⁾ t = tempo; R = período de repouso de aproximadamente 12 horas; D.P. = desvio padrão.

QUADRO 05. Resultados médios para a máxima temperatura da massa de grãos observada, na saída do secador, para o tratamento 02¹

Teste 05			Teste 06			Teste 07			Teste 08		
t (h)	Temp. média (°C)	D.P.	t (h)	Temp. média (°C)	D.P.	t (h)	Temp. média (°C)	D.P.	t (h)	Temp. média (°C)	D.P.
0,0	11,6	0,7	0,0	13,6	0,3	0,0	14,1	0,2	0,0	12,3	0,2
3,0	33,1	0,5	3,0	33,7	1,0	3,0	33,6	0,6	3,0	35,3	0,8
6,0	35,9	0,7	6,0	35,8	1,2	6,0	37,0	0,6	6,0	40,3	0,8
9,0	35,4	0,4	9,0	32,2	1,2	9,0	37,7	1,1	7,5	41,1	0,4
			12,0	30,9	0,6						
			R	----	----						
			24,0	19,2	1,8						
			25,5	36,0	0,9						

⁽¹⁾ t = tempo; R = período de repouso de aproximadamente 12 horas; D.P. = desvio padrão.

Para os testes em que foi aplicado o tratamento 01, com temperatura do ar de secagem de 45 °C, observa-se que a temperatura da massa de grãos na saída do secador chegou a atingir valores de 29,9 °C. Entretanto, estes baixos valores de temperatura da massa de grãos podem ser explicados pela mistura de grãos em repouso com grãos que estavam nos estádios de secagem, em função do revolvimento. Para os testes em que foi aplicado o tratamento 02, com temperatura do ar de secagem de 70 °C, observou-se que o valor mais elevado encontrado foi de 41,1 °C.

Em suma, o que se pode observar em relação a temperatura da massa de grãos na saída do secador é que, para os tratamentos 01 e 02, foram encontrados valores inferiores aos encontrados no ponto de leitura 03. Deste modo, a fim de se evitar o comprometimento da qualidade do café, em função do nível de temperatura da massa de grãos, recomenda-se operar o secador com base nos dados de temperatura da massa de grãos no ponto de leitura 03, em detrimento a temperatura da massa de grãos na saída do secador.

4.1.4 Teor de água da massa de grãos

4.1.4.1 Tratamentos

Nas FIGURAS 22 e 23 são ilustradas a variação de umidade da massa de grãos de café em função do tempo de secagem, para os tratamentos 01 e 02, respectivamente. Os intervalos de dados, entre 12 e 24 horas e 36 e 48 horas representam o período de repouso utilizado de 12 horas.

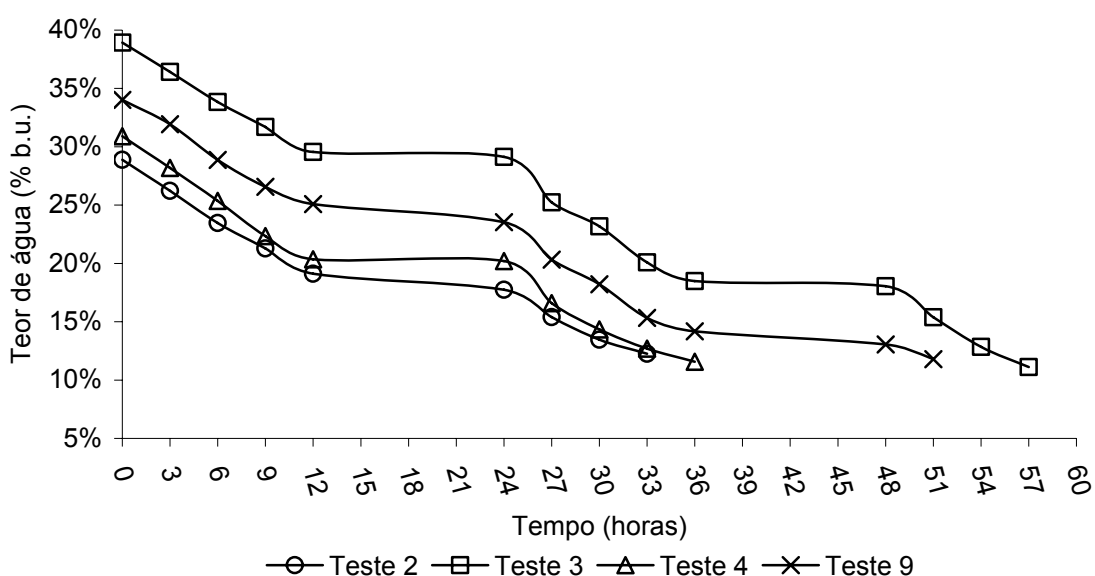


FIGURA 22. Curva de secagem do café, para os quatro testes realizados em que foi aplicado o tratamento 01.

Com base na FIGURA 22, observa-se que os quatro testes realizados apresentaram variação da umidade inicial da massa de grãos entre 28,88 e 38,95% (b.u.). Também observa-se que os testes realizados com os maiores níveis de umidade inicial exigiram, em função do tratamento aplicado, dois períodos de repouso até que fosse completada a secagem. Em relação ao teste 09, observa-se que o término do processo de secagem foi caracterizado por um curto período de secagem, após o segundo período de repouso.

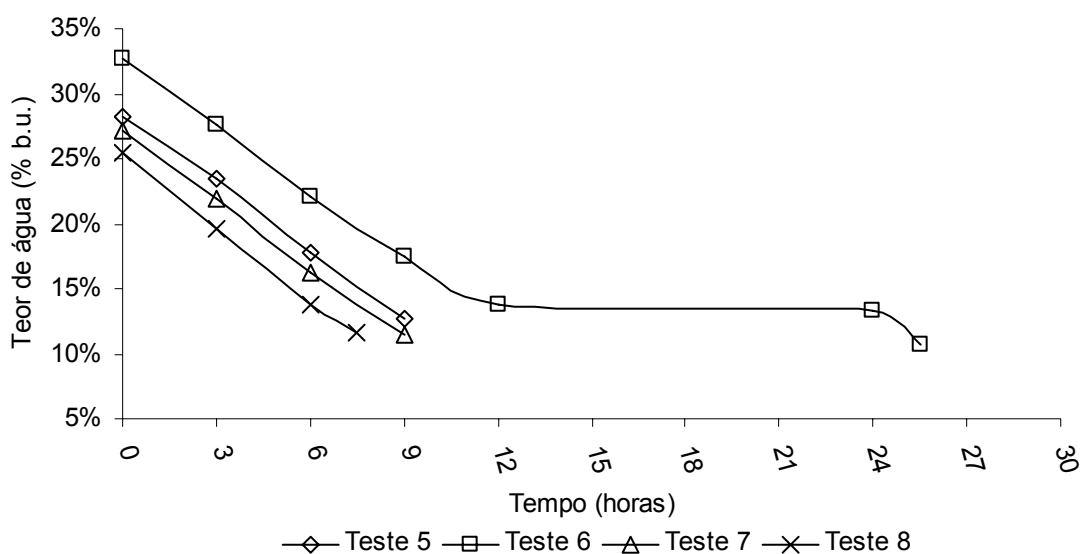


FIGURA 23. Curva de secagem do café, para os quatro testes realizados em que foi aplicado o tratamento 03.

Conforme é ilustrado na FIGURA 23, nas quatro curvas de secagem em que foram aplicados o tratamento 02, observou-se umidade inicial entre 25,41 e 32,7% (b.u.). Dentre os quatro testes realizados, apenas o teste 06 em que a umidade inicial apresentou valor de 32,7% (b.u.), necessitou a utilização de um período de repouso, com posterior complementação da secagem em 1,5 horas. Já o teste 08 em que a umidade inicial apresentou valor de 28,18% (b.u.), sua duração foi de apenas 7,5 horas.

4.1.4.2 Testemunhas

Nas FIGURAS 24 e 25 está demonstrada a variação da umidade da massa de grãos de café, durante o processo de secagem, para as testemunhas secadas em terreiro suspenso, relativas aos tratamentos 01 e 02, respectivamente.

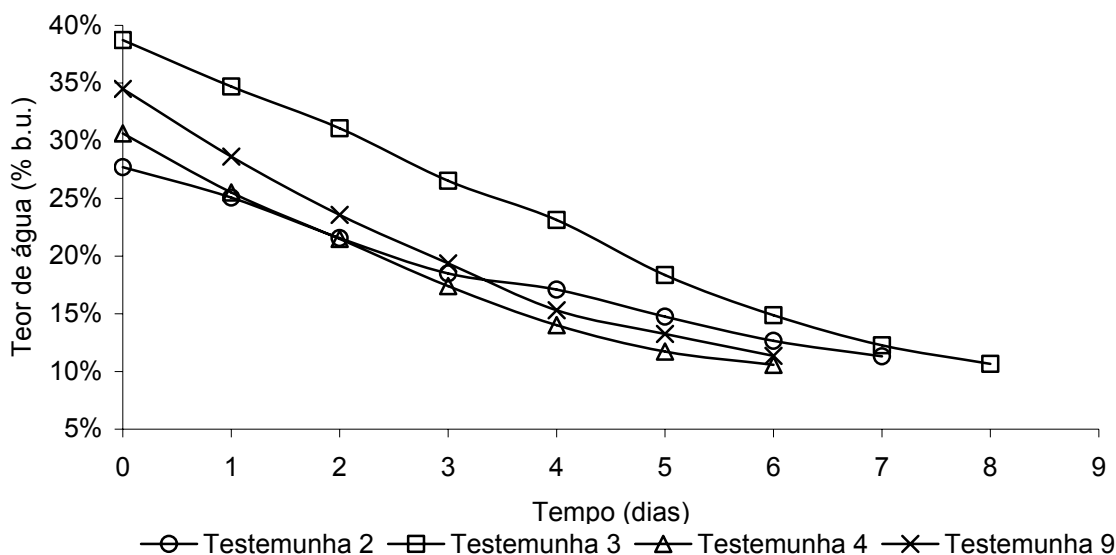


FIGURA 24. Curva de secagem das testemunhas, relativas ao tratamento 01.

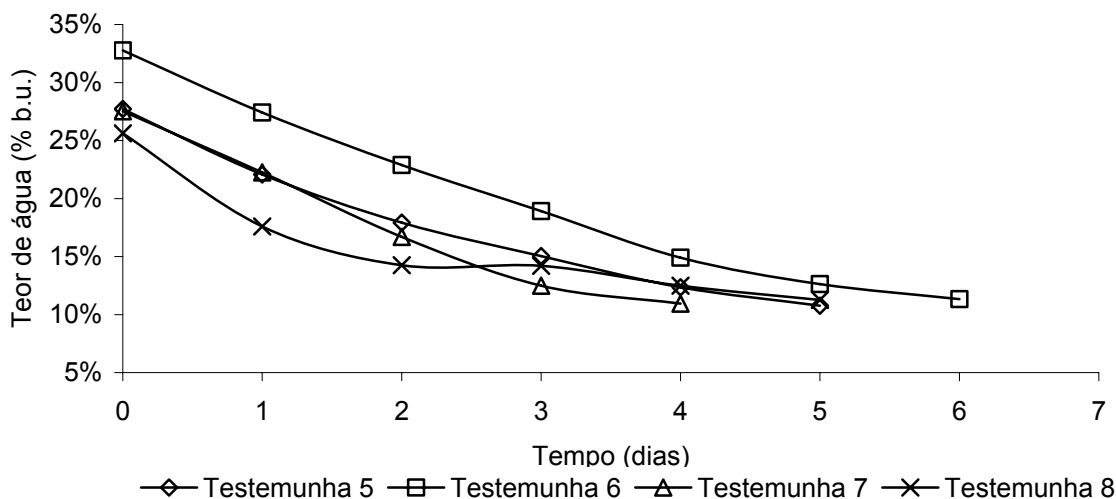


FIGURA 25. Curva de secagem das testemunhas, relativas ao tratamento 02.

Em relação às testemunhas, pode-se notar que ambas apresentaram comportamento de secagem semelhantes. Os períodos de secagem variaram entre quatro e oito dias, conforme a umidade inicial.

4.2 Avaliação das características qualitativas

Dentre as características qualitativas avaliadas, pode-se citar as características físicas, químicas e a classificação do café, cujos resultados encontram-se descritos a seguir.

4.2.1 Avaliação das características físicas

4.2.1.1 Massa específica aparente

Nos QUADROS 06, 07, 08 e 09 são descritos os resultados médios da massa específica aparente do café, durante o processo de secagem e sua relação com o teor de água da massa de grãos, para o tratamento 01, testemunha 01, tratamento 02 e testemunha 02, respectivamente, em função do tempo de secagem.

QUADRO 06. Resultados médios da massa específica aparente dos grãos de café para o tratamento 01¹

Teste 02			Teste 03			Teste 04			Teste 09		
t (h)	U (% b.u.)	M.E. (kg m ⁻³)	t (h)	U (% b.u.)	M.E. (kg m ⁻³)	t (h)	U (% b.u.)	M.E. (kg m ⁻³)	t (h)	U (% b.u.)	M.E. (kg m ⁻³)
0,0	28,9	426,8	0,0	38,9	492,3	0,0	30,9	445,7	0,0	34,0	443,3
3,0	26,2	466,2	3,0	36,4	537,2	3,0	28,2	479,5	3,0	31,9	461,3
6,0	23,5	456,2	6,0	33,8	531,4	6,0	25,4	482,6	6,0	28,9	474,9
9,0	21,3	444,7	9,0	31,7	523,7	9,0	22,3	459,8	9,0	26,6	456,7
12,0	19,1	442,9	12,0	29,6	510,4	12,0	20,4	455,9	12,0	25,1	440,4
R	----	----	R	----	----	R	----	----	R	----	----
24,0	17,7	418,1	24,0	29,1	445,7	24,0	20,2	421,0	24,0	23,5	401,9
27,0	15,4	431,8	27,0	25,2	477,4	27,0	16,6	441,4	27,0	20,3	431,8
30,0	13,5	427,5	30,0	23,2	476,3	30,0	14,3	437,3	30,0	18,2	427,8
33,0	12,3	419,5	33,0	20,1	459,6	33,0	12,7	426,1	33,0	15,3	418,1
			36,0	18,5	444,4	36,0	11,6	418,6	36,0	14,2	417,3
			R	----	----				R	----	----
			48,0	18,0	417,8				48,0	13,0	401,2
			51,0	15,4	430,0				51,0	11,8	403,2
			54,0	12,9	425,4						
			57,0	11,1	422,6						

¹ t = tempo; R = período de repouso de aproximadamente 12 horas; U = umidade; M.E. = massa específica aparente

QUADRO 07. Resultados médios da massa específica aparente dos grãos de café para a testemunha 01¹

Teste 02			Teste 03			Teste 04			Teste 09		
t (dia)	U (% b.u.)	M.E. (kg m ⁻³)	t (dia)	U (% b.u.)	M.E. (kg m ⁻³)	t (dia)	U (% b.u.)	M.E. (kg m ⁻³)	t (dia)	U (% b.u.)	M.E. (kg m ⁻³)
0	27,7	431,6	0	38,7	498,1	0	30,6	448,0	0	34,5	450,6
1	25,1	440,2	1	34,7	516,3	1	25,5	467,0	1	28,6	454,7
2	21,6	425,2	2	31,1	496,0	2	21,5	438,3	2	23,6	432,5
3	18,5	405,2	3	26,5	476,7	3	17,4	420,3	3	19,4	416,0
4	17,1	406,9	4	23,1	449,9	4	14,0	406,2	4	15,3	399,4
5	14,7	396,3	5	18,4	429,5	5	11,7	396,1	5	13,3	383,8
6	12,7	389,8	6	14,9	414,9	6	10,6	393,3	6	11,3	382,2
7	11,3	388,0	7	12,3	403,8						
			8	10,7	393,7						

¹ t = tempo; R = período de repouso de aproximadamente 12 horas; U = umidade; M.E. = massa específica aparente

QUADRO 08. Resultados médios da massa específica aparente dos grãos de café para o tratamento 02¹

Teste 05			Teste 06			Teste 07			Teste 08		
t (h)	U (% b.u.)	M.E. (kg m ⁻³)	t (h)	U (% b.u.)	M.E. (kg m ⁻³)	t (h)	U (% b.u.)	M.E. (kg m ⁻³)	t (h)	U (% b.u.)	M.E. (kg m ⁻³)
0,0	28,2	418,1	0,0	32,7	443,0	0,0	27,2	414,8	0,0	25,4	397,2
3,0	23,4	471,9	3,0	27,7	498,0	3,0	21,9	456,2	3,0	19,7	434,2
6,0	17,7	453,6	6,0	22,1	469,2	6,0	16,2	440,4	6,0	13,7	421,9
9,0	12,7	438,6	9,0	17,5	454,8	9,0	11,5	430,5	7,5	11,6	426,9
			12,0	13,8	446,1						
			R	----	----						
			24,0	13,3	422,5						
			25,5	10,8	447,3						

¹ t = tempo; R = período de repouso de aproximadamente 12 horas; U = umidade; M.E. = massa específica aparente

QUADRO 09. Resultados médios da massa específica aparente dos grãos de café para a testemunha 02¹

Teste 05			Teste 06			Teste 07			Teste 08		
t (dia)	U (% b.u.)	M.E. (kg m ⁻³)	t (dia)	U (% b.u.)	M.E. (kg m ⁻³)	t (dia)	U (% b.u.)	M.E. (kg m ⁻³)	t (dia)	U (% b.u.)	M.E. (kg m ⁻³)
0	27,7	437,9	0	32,8	447,8	0	27,5	411,1	0	25,6	396,3
1	22,1	437,8	1	27,4	458,2	1	22,3	424,4	1	17,6	398,8
2	17,9	410,6	2	22,9	429,6	2	16,7	398,2	2	14,2	387,6
3	15,0	397,2	3	18,9	420,3	3	12,5	383,8	3	14,2	372,6
4	12,4	392,7	4	14,9	403,5	4	10,9	376,8	4	12,5	379,9
5	10,8	386,4	5	12,6	393,7				5	11,3	378,4
			6	11,3	397,8						

¹ t = tempo; R = período de repouso de aproximadamente 12 horas; U = umidade; M.E. = massa específica aparente

Quanto aos resultados da massa específica aparente final, observou-se valores encontrados para as testemunhas inferiores aos encontrados para os tratamentos, sendo esta diferença de maior proporção entre o tratamento 02 e a testemunha 02 do que entre o tratamento 01 e sua testemunha 01. Dentre os fatores que podem ter induzido a tal resultado, pode-se citar a variação da porcentagem de impureza das amostras e o efeito da remoção do pergaminho, ocorrido durante o processo de secagem no secador. PALACIN (2007) observou resultados semelhantes, em que a massa específica dos grãos de café, secados no terreiro secador e no sistema combinado, foram superiores a dos grãos secados em terreiro de concreto.

4.2.1.2 Porcentagem de impurezas

Os resultados para o cálculo da porcentagem de impureza para o tratamento 01 e testemunha 01 encontram-se no QUADRO 10. Já os resultados para o tratamento 02 e a testemunha 02 encontram-se no QUADRO 11.

QUADRO 10. Porcentagem de impureza dos testes relacionados ao tratamento 01 e respectivas testemunhas

Treatment	Test	Impurity (%)	Testimony	Test	Impurity (%)
01	2	1,17	01	2	1,46
	3	0,58		3	1,39
	4	1,32		4	1,16
	9	1,38		9	1,90
Media		1,11	Media		1,48
Desvio Padrão		0,37	Desvio Padrão		0,31

QUADRO 11. Porcentagem de impureza dos testes relacionados ao tratamento 02 e respectivas testemunhas

Treatment	Test	Impurity (%)	Testimony	Test	Impurity (%)
02	5	0,82	02	5	2,00
	6	0,63		6	1,92
	7	0,67		7	2,74
	8	0,81		8	1,79
Media		0,73	Media		2,11
Desvio Padrão		0,10	Desvio Padrão		0,43

Com base nos resultados da porcentagem de impureza pode-se observar menores valores para ambos os tratamentos em relação as respectivas testemunhas. Isto pode ser explicado pelo fato de que, os grãos de café secados no secador, foram submetidos a determinada vazão de ar de secagem, o qual

carregava pequenas partículas de impureza para fora do secador, junto ao ar de exaustão.

4.2.1.3 Danos no pergaminho

Os resultados médios da avaliação dos danos no pergaminho na massa de grãos, ocasionados pelo processo de secagem, encontram-se nos QUADROS 12 e 13 para o tratamento 01 e a testemunha 01, respectivamente.

QUADRO 12. Resultados médios da avaliação do dano no pergaminho para o tratamento 01

Tratamento	Teste	Pergaminho Inteiro (%)	Pergaminho Danificado (%)	Pergaminho Ausente (%)
01	2	94,1	3,9	2,0
	3	89,9	7,7	2,4
	4	92,9	4,3	2,8
	9	91,0	6,1	2,9
Media		91,9	5,5	2,5
Desvio Padrão		1,9	1,7	0,4

QUADRO 13. Resultados médios da avaliação do dano no pergaminho para a testemunha 01

Testemunha	Teste	Pergaminho Inteiro (%)	Pergaminho Danificado (%)	Pergaminho Ausente (%)
01	2	93,3	5,5	1,2
	3	97,7	2,1	0,2
	4	95,8	3,6	0,6
	9	96,9	2,2	0,9
Media		95,9	3,3	0,7
Desvio Padrão		1,9	1,6	0,4

Ao comparar os resultados do tratamento e da testemunha por meio da média final, nota-se que o tratamento provocou uma redução na porcentagem de grãos com pergaminho inteiro. Neste contexto, houve também uma maior porcentagem de grãos com pergaminho danificado e um expressivo aumento na porcentagem de grão sem pergaminho. Estes grãos, com pergaminho danificado e, principalmente, sem pergaminho, podem vir a provocar durante o período de armazenamento, perdas na qualidade do produto. Isto levando-se em consideração o sistema de armazenagem adotado, pois pode-se fazer a armazenagem dos grãos tanto em pergaminho como em grão verde.

Outra observação importante é a de que, mesmo para a secagem em terreiros, houve a presença de grãos sem pergaminho, que podem ter surgido

durante o revolvimento da massa de grãos nos terreiros, como também pelo manejo pós-colheita realizado antes da secagem, de descascamento do produto ainda úmido.

Os resultados médios da avaliação dos danos no pergaminho na massa de grãos, ocasionados pelo processo de secagem, são demonstrados nos QUADROS 14 e 15 para o tratamento 02 e a testemunha 02, respectivamente.

QUADRO 14. Resultados médios da avaliação do dano no pergaminho para o tratamento 02

Tratamento	Teste	Pergaminho Inteiro (%)	Pergaminho Danificado (%)	Pergaminho Ausente (%)
02	5	86,2	7,3	6,5
	6	77,5	9,6	12,9
	7	74,5	11,3	14,2
	8	85,3	7,6	7,1
Media		80,9	8,9	10,2
Desvio Padrão		5,8	1,9	3,9

QUADRO 15. Resultados médios da avaliação do dano no pergaminho para a testemunha 2

Testemunha	Teste	Pergaminho Inteiro (%)	Pergaminho Danificado (%)	Pergaminho Ausente (%)
02	5	97,7	1,9	0,4
	6	99,3	0,7	0,0
	7	94,0	4,7	1,3
	8	95,2	3,9	0,9
Media		96,5	2,8	0,6
Desvio Padrão		2,4	1,8	0,6

Os resultados para o tratamento 02 e a testemunha 02 demonstram a mesma tendência observada no tratamento 01 e testemunha 01. Nestas duas situações, o tratamento apresentou menor porcentagem de grãos com pergaminho inteiro e maior porcentagem de grãos com pergaminho danificado e ausente, em virtude da maior movimentação dos grãos no sistema de secagem em comparação a secagem em terreiro suspenso.

Em relação as testemunhas, pode-se observar que o resultado médio final para a testemunha 01 e para a testemunha 02 foi bastante semelhante, em todos os parâmetros de danos no pergaminho avaliados.

Já com relação ao tratamento 01 e 02, pode-se observar uma grande diferença entre o resultado médio final, ou seja, o tratamento 02 apresentou menor porcentagem de grãos com pergaminho inteiro, maior porcentagem de

grãos com pergaminho danificado e, principalmente, maior porcentagem de grãos sem pergaminho, mesmo o tratamento 02 apresentando em todos os testes menor tempo efetivo de secagem. A porcentagem medida de grãos sem pergaminho, encontrada no tratamento 01 foi de 2,5%, sendo que para o tratamento 02 foi encontrado o valor de 10,2%.

A explicação para tal resultado pode ser atribuída principalmente ao fato de que a utilização do tratamento 02 implica em movimentação constante da massa de grãos durante o tempo efetivo de secagem.

Em suma, ambos os tratamentos afetaram negativamente os grãos de café, causando danos no pergaminho e, inclusive, removendo-o completamente, principalmente no tratamento 02. Resta agora avaliar como tais danos podem afetar as práticas de armazenagem do café e seu efeito na qualidade após o seu armazenamento.

4.2.1.4 Peso de mil grãos

Os resultados médios para o peso de mil grãos, para os tratamentos 01 e 02 e suas respectivas testemunhas, são descritos nos QUADROS 16 e 17.

QUADRO 16. Resultados médios das análises do peso de mil grãos para o tratamento 01 e testemunha

Tratamento	Teste	Peso de mil grãos (g)	Testemunha	Teste	Peso de mil grãos (g)
01	2	140,8	01	2	138,8
	3	147,8		3	146,5
	4	146,4		4	147,4
	9	146,1		9	145,0
Media		145,3	Media		144,4
Desvio Padrão		3,1	Desvio Padrão		3,9

QUADRO 17. Resultados médios das análises do peso de mil grãos para o tratamento 02 e testemunha

Tratamento	Teste	Peso de mil grãos (g)	Testemunha	Teste	Peso de mil grãos (g)
02	5	139,1	02	5	137,4
	6	138,2		6	138,9
	7	144,9		7	145,0
	8	143,2		8	142,8
Media		141,4	Media		141,1
Desvio Padrão		3,2	Desvio Padrão		3,5

Os resultados para o peso de mil grãos, ao se comparar os tratamentos com suas respectivas testemunhas, demonstram haver uma grande semelhança entre eles, com pequenas variações.

Deste modo, pode-se notar que o peso de mil grãos não foi afetado, em função dos tratamentos de secagem aplicados.

4.2.1.5 Análise de cor

Os resultados médios para as análises de cor, realizadas nas amostras de café, para o tratamento 01 e testemunha 01 encontram-se descritos nos QUADROS 18 e 19, respectivamente.

QUADRO 18. Resultados médios da análise de cor, para o tratamento 01¹

Tratamento	Teste	L *	a *	b *	C *	h *
01	2	49,5	1,4	8,9	9,0	81,3
	3	50,0	1,4	9,5	9,6	81,8
	4	49,9	1,2	9,4	9,4	82,5
	9	51,6	0,5	9,9	9,9	87,1
Media		50,2	1,1	9,4	9,5	83,2
Desvio Padrão		0,9	0,4	0,4	0,4	2,6

¹ L* = índice de luminosidade; a* e b* = coordenadas; C* = índice de saturação de cor; h* = tonalidade da cor.

QUADRO 19. Resultados médios da análise de cor, para a testemunha 01¹

Testemunha	Teste	L *	a *	b *	C *	h *
01	2	49,5	1,4	8,9	9,0	81,3
	3	50,0	1,4	9,5	9,6	81,8
	4	49,9	1,2	9,4	9,4	82,5
	9	51,6	0,5	9,3	9,3	86,9
Media		50,2	1,1	9,3	9,4	83,1
Desvio Padrão		0,9	0,4	0,3	0,3	2,6

¹ L* = índice de luminosidade; a* e b* = coordenadas; C* = índice de saturação de cor; h* = tonalidade da cor.

Tendo em vista os resultados médios finais, pode-se observar que os parâmetros da cor avaliados em nada afetaram o tratamento em relação à testemunha.

Os resultados médios para as análises de cor, para o tratamento 02 e testemunha 02, encontram-se descritos nos QUADROS 20 e 21, respectivamente.

QUADRO 20. Resultados médios da análise de cor, para o tratamento 02¹

Tratamento	Teste	L *	a *	b *	C *	h *
02	5	50,7	1,1	9,7	9,7	83,7
	6	50,9	1,1	9,9	10,0	83,7
	7	51,8	1,2	10,7	10,7	83,5
	8	52,1	0,7	10,2	10,2	86,0
Media		51,4	1,0	10,1	10,2	84,2
Desvio Padrão		0,7	0,2	0,4	0,4	1,2

¹ L* = índice de luminosidade; a* e b* = coordenadas; C* = índice de saturação de cor; h* = tonalidade da cor.

QUADRO 21. Resultados médios da análise de cor, para a testemunha 02¹

Testemunha	Teste	L *	a *	b *	C *	h *
02	5	50,2	1,1	9,2	9,2	83,4
	6	50,6	0,9	9,3	9,4	84,7
	7	51,3	0,9	9,6	9,7	84,5
	8	53,0	0,5	9,9	9,9	87,0
Media		51,3	0,8	9,5	9,6	84,9
Desvio Padrão		1,2	0,2	0,3	0,3	1,5

¹ L* = índice de luminosidade; a* e b* = coordenadas; C* = índice de saturação de cor; h* = tonalidade da cor.

Com base nestes resultados, relativos ao tratamento 02 e testemunha 02, pode-se notar que os resultados pouco diferiram, o mesmo aconteceu com o tratamento 01 e testemunha 01.

Deste modo, pode-se observar que os parâmetros de cor em nada foram afetados pelos tratamentos aplicados, em relação às testemunhas. Portanto, sugere-se a realização de trabalhos futuros de análise de cor, em função do tempo de armazenagem e das condições de armazenagem, para que possa ser analisado mais a fundo o efeito dos tratamentos sobre a cor dos grãos em relação à testemunha. Isto pelo fato de que AFONSO JUNIOR (2001) observou que houve efeito da operação de secagem sobre a coloração dos grãos ao longo do período de armazenagem. Verificou que as temperaturas do ar de secagem de 30 e 40°C associadas à armazenagem em ambiente com temperatura de 15°C, mantiveram a coloração inicial do produto por maior período de tempo, independentemente da forma de preparo utilizada. As temperaturas de 50 e 60 °C influenciaram negativamente na coloração dos grãos beneficiados de café, sendo que, seus efeitos sobre as coordenadas L*, a* e b*, tornaram-se mais acentuados durante o armazenagem do produto. No entanto, para temperatura de 60°C estes efeitos danosos na cor dos grãos de café foram mais evidentes que os observados para temperatura de 50°C. Semelhantes resultados foram obtidos por

CORADI et al. (2008), os quais observaram que a secagem de café a 60 °C resultou em grãos de pior qualidade, quanto a análise de cor, em comparação aos grãos secados a 40 °C e em terreiro, em função do tempo de armazenamento.

4.2.2 Avaliação das características químicas

4.2.2.1 Condutividade elétrica

Os resultados médios da análise de condutividade elétrica, para os tratamentos 01 e 02 e suas respectivas testemunhas, encontram-se nos QUADROS 22 e 23.

QUADRO 22. Resultados médios da análise de condutividade elétrica para o tratamento 01 e respectiva testemunha¹

Treatment	Teste	CE ($\mu\text{Scm}^{-1}\text{g}^{-1}$)	Testemunha	Teste	CE ($\mu\text{Scm}^{-1}\text{g}^{-1}$)
01	2	107,59	01	2	94,86
	3	123,12		3	97,32
	4	101,87		4	78,95
	9	135,56		9	93,54
Media		117,04	Media		91,17
Desvio Padrão		15,27	Desvio Padrão		8,29

¹ CE = condutividade elétrica

Os resultados para o tratamento 01 e respectiva testemunha demonstram maiores valores de condutividade elétrica para o tratamento, em todos os testes. Conclui-se, portanto, que a secagem realizada com o sistema proposto ocasionou danos na massa de grãos, relacionados com a degeneração das membranas celulares e subsequente perda de controle da permeabilidade das mesmas, conforme cita PRETE (1992).

QUADRO 23. Resultados médios da análise de condutividade elétrica para o tratamento 02 e respectiva testemunha¹

Treatment	Teste	CE ($\mu\text{Scm}^{-1}\text{g}^{-1}$)	Testemunha	Teste	CE ($\mu\text{Scm}^{-1}\text{g}^{-1}$)
02	5	132,79	02	5	88,80
	6	140,35		6	81,70
	7	171,86		7	122,40
	8	155,26		8	111,46
Media		150,07	Media		101,09
Desvio Padrão		17,27	Desvio Padrão		19,05

¹ CE = condutividade elétrica

Com base nos resultados do tratamento 02 e respectiva testemunha, observou-se maiores valores de condutividade elétrica para a massa de grãos secada no sistema de secagem, comparativamente a massa de grãos secada em terreiros suspensos. Este mesmo comportamento foi observado nos testes realizados com o tratamento 01 e sua respectiva testemunha.

Deste modo, observando-se os resultados médios para os tratamentos e as testemunhas, pode-se notar que a diferença entre a média do tratamento 01 e sua testemunha é relativamente inferior a diferença entre a média do tratamento 02 e sua testemunha. Isto implica em relatar que os danos ocasionados na massa de grãos pelo tratamento 01 podem ser considerados inferiores aos ocasionados pelo tratamento 02, em função da operação do secador nos diferentes tratamentos.

4.2.2.2 Lixiviação de potássio

Os resultados médios da análise de lixiviação de potássio, para os tratamentos 01 e 02 e suas respectivas testemunhas, são demonstrados nos QUADROS 24 e 25.

QUADRO 24. Resultados médios da análise de lixiviação de potássio para o tratamento 01 e respectiva testemunha¹

Tratamento	Teste	LK (ppm g ⁻¹)	Testemunha	Teste	LK (ppm g ⁻¹)
01	2	29,70	01	2	20,48
	3	34,01		3	20,82
	4	25,67		4	24,14
	9	35,27		9	22,08
Media		31,16	Media		21,88
Desvio Padrão		4,37	Desvio Padrão		1,66

¹ LK = lixiviação de potássio

QUADRO 25. Resultados médios da análise de lixiviação de potássio para o tratamento 02 e respectiva testemunha¹

Tratamento	Teste	LK (ppm g ⁻¹)	Testemunha	Teste	LK (ppm g ⁻¹)
02	5	48,47	02	5	15,67
	6	41,24		6	18,86
	7	48,63		7	32,32
	8	44,66		8	24,39
Media		45,75	Media		22,81
Desvio Padrão		3,52	Desvio Padrão		7,29

¹ LK = lixiviação de potássio

Com base nos resultados descritos pela análise de lixiviação de potássio, observa-se a mesma tendência de comportamento encontrada nos resultados da análise de condutividade elétrica, tanto para os tratamentos aplicados e suas testemunhas como também entre os tratamentos.

Deste modo, em função das análises químicas realizadas, observa-se que houve maior comprometimento da estrutura da membrana celular dos grãos que foram submetidos a secagem no sistema proposto em comparação as testemunhas. Já entre os tratamentos, o tratamento 02 foi o que apresentou maior diferença em relação a testemunha, comparativamente ao tratamento 01 e sua testemunha. Em concordância com estes resultados, AFONSO JUNIOR et al. (2004) verificaram o aumento dos valores médios de condutividade elétrica dos grãos de café, para a secagem mecânica, em comparação a secagem em terreiro de concreto. Citaram também que este fato, possivelmente, poderia estar associado à ocorrência de danos físicos ao produto devido a sua excessiva movimentação durante a etapa de pré-processamento. Também BORÉM et al. (2008) observaram maiores valores para os resultados de condutividade elétrica e lixiviação de potássio para café tanto natural quanto despulpado secado em secador de camada fixa em comparação a secagem em terreiro. Do mesmo modo, BORÉM e REINATO (2006) observaram maiores valores de lixiviação de potássio e de condutividade elétrica para a secagem de café despulpado em secador rotativo, comparativamente a secagem em terreiros. No entanto, SANTOS et al. (2009) observaram em café descascado maiores valores de lixiviação de potássio e menores valores de condutividade elétrica, para secagem em terreiro comparativamente a secagem mista (terreiro+secador vertical). Já para o café desmucilado, foram observados maiores valores de condutividade elétrica e lixiviação de potássio para o café secado em terreiro em comparação a secagem mista (terreiro+secador horizontal), em acordo com os resultados observados no presente estudo.

4.2.3 Classificação do café

4.2.3.1 Análise sensorial (prova de xícara)

Os resultados da análise sensorial encontram-se descritos nos QUADROS 26 e 27, para cada tratamento e testemunha.

QUADRO 26. Resultados médios para a nota de bebida em relação ao tratamento 01 e testemunha 01

Treatment	Teste	Nota	Bebida	Testemunha	Teste	Nota	Bebida
01	2	79	Apenas mole	01	2	79	Apenas mole
	3	82	Mole		3	82	Mole
	4	75	Apenas mole		4	76	Apenas mole
	9	77	Apenas mole		9	78	Apenas mole
Media		78	Apenas mole	Media		79	Apenas mole
Desvio Padrão		3,0		Desvio Padrão		2,5	

Pelos resultados da determinação da bebida, observou-se que não houve o comprometimento da qualidade da bebida pelo tratamento 01, comparativamente a sua respectiva testemunha. Em relação à nota atribuída pelo degustador, o valor médio da testemunha ficou apenas um ponto acima do tratamento.

QUADRO 27. Resultados médios para a nota de bebida em relação ao tratamento 02 e testemunha 02

Treatment	Teste	Nota	Bebida	Testemunha	Teste	Nota	Bebida
02	5	78	Apenas mole	02	5	78	Apenas mole
	6	80	Mole		6	82	Mole
	7	76	Apenas mole		7	76	Apenas mole
	8	76	Apenas mole		8	77	Apenas mole
Media		78	Apenas mole	Media		78	Apenas mole
Desvio Padrão		1,9		Desvio Padrão		2,6	

Quanto às análises de bebida realizadas para o tratamento 02 e sua respectiva testemunha, pode-se observar comportamento semelhante ao ocorrido com o tratamento 01 e respectiva testemunha. O resultado obtido para a nota média de todos os testes foi exatamente o mesmo (bebida apenas mole). Deste modo, pode-se notar que tanto o tratamento 01 quanto o tratamento 02 não comprometeram a qualidade da bebida. Portanto, a utilização deste sistema de secagem com os respectivos tratamentos, pode ser recomendada para a prática de secagem de café.

Entretanto, foram observados resultados para lixiviação de potássio e condutividade elétrica que contradizem esta afirmação. Esta contradição de resultados também foi observada por PIMENTA et al. (2008a), onde observaram não haver diferenças para a análise de bebida (prova-de-xícara) e sim diferenças para a lixiviação de potássio e acidez titulável total, em café colhidos em

diferentes épocas, colheita no pano e no chão, com posterior secagem em terreiro de concreto.

Em outro estudo, PIMENTA et al. (2008b) observaram variações nos resultados de lixiviação de potássio e acidez titulável total para amostras de café, submetidas a diferentes tempos de espera para secagem em terreiro, porém não detectaram diferença para a análise de bebida (prova-de-xícara), também semelhantes aos resultados aqui encontrados.

4.2.3.2 Determinação do tipo

Os resultados médios relativos aos defeitos e ao tipo de bebida encontram-se nos QUADROS 28 e 29.

QUADRO 28. Resultados médios para os defeitos e o tipo do café, relativos ao tratamento 01 e testemunha 01

Tratamento	Teste	Defeitos	Tipo	Testemunha	Teste	Defeitos	Tipo
01	2	23	3-40	01	2	26	4
	3	26	4		3	26	4
	4	29	4-05		4	27	4
	9	39	4-30		9	32	4-15
Media		29	4-05	Media		28	4-05
Desvio Padrão		6,9		Desvio Padrão		2,9	

Ao comparar os resultados obtidos dos tratamentos com as respectivas testemunhas, nota-se que a média final para o número de defeitos e para a classificação por tipo, com o tratamento aplicado, pouco diferenciou da média final para a testemunha.

Também pode-se observar que não houve a formação de tendência de comportamento, pois em alguns testes o tratamento apresentou maior número de defeitos e em outros, a testemunha.

QUADRO 29. Resultados médios para os defeitos e o tipo do café, relativos ao tratamento 02 e testemunha 02

Tratamento	Teste	Defeitos	Tipo	Testemunha	Teste	Defeitos	Tipo
02	5	28	4-05	02	5	24	3-30
	6	27	4		6	40	4-35
	7	32	4-15		7	23	3-40
	8	31	4-10		8	26	4
Media		30	4-10	Media		28	4-05
Desvio Padrão		2,4		Desvio Padrão		7,9	

Em relação ao tratamento 02 e sua respectiva testemunha, pode-se notar que o resultado final médio pouco diferenciou entre ambos, sendo que a testemunha ficou com menor média do número de defeitos e conseqüente melhor padrão de tipo.

Desta maneira, pode-se constatar que ambos os tratamentos pouco afetaram o número de defeitos e conseqüentemente o tipo do café, em comparação com as testemunhas. Entretanto, deve-se levar em consideração que houve uma pequena tendência de o tratamento 02 apresentar um pouco mais de defeitos do que a testemunha e também apresentar uma classificação por tipo inferior, o que não foi observado entre o tratamento 01 e sua respectiva testemunha.

4.2.3.3 Classificação por peneiras

Nos QUADROS 30 e 31 são apresentados os dados obtidos na classificação por peneiras, relativos ao tratamento 01 e a testemunha 01, respectivamente.

QUADRO 30. Resultados médios da classificação por peneiras, relativo ao tratamento 01

Classificação	Tratamento 01				
	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 9	Media
Moca 12 (%)	4,3	4,8	4,8	2,5	4,1
Chato 18 (%)	18,5	25,5	23,3	25,8	23,3
Moca 11 (%)	9,5	9,5	7,8	6,5	8,3
Chato 17 (%)	24,8	27,0	27,5	27,5	26,7
Chato 16 (%)	20,5	17,3	17,5	18,8	18,5
Moca 10 (%)	4,5	3,0	4,3	5,0	4,2
Fundo (%)	18,0	13,0	15,0	14,0	15,0
Catação (%)	3,8	4,0	5,0	6,5	4,8
Bica Corrida (%)	82,0	87,0	85,0	86,0	85,0
P17 acima (%)	57,0	66,8	63,3	62,3	62,3
Quebra (%)	21,8	17,0	20,0	20,5	19,8

QUADRO 31. Resultados médios da classificação por peneiras, relativo a testemunha 01

Classificação	Testemunha 01				Media
	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 9	
Moca 12 (%)	4,3	4,0	4,3	3,7	4,1
Chato 18 (%)	16,0	20,7	21,0	22,7	20,1
Moca 11 (%)	9,3	10,3	8,7	6,7	8,8
Chato 17 (%)	26,0	26,7	25,0	28,3	26,5
Chato 16 (%)	21,3	18,3	19,3	19,3	19,6
Moca 10 (%)	4,3	4,7	4,3	3,7	4,3
Fundo (%)	18,7	15,3	17,3	15,7	16,8
Catação (%)	4,0	4,3	4,7	5,7	4,7
Bica Corrida (%)	81,3	84,7	82,7	84,3	83,3
P17 acima (%)	55,7	61,7	59,0	61,3	59,4
Quebra (%)	22,7	19,7	22,0	21,3	21,4

Ao observar os resultados da classificação por peneiras, levando-se em consideração bica corrida e peneira 17 acima, verifica-se que os resultados obtidos foram superiores para o tratamento 01, comparativamente a testemunha. Já em relação a porcentagem de quebra, o resultado verificado no tratamento foi inferior ao encontrado na testemunha.

Nos QUADROS 32 e 33 estão demonstrados os dados obtidos na classificação por peneiras, relativos ao tratamento 02 e à testemunha 02, respectivamente.

QUADRO 32. Resultados médios da classificação por peneiras, relativo ao tratamento 02

Classificação	Tratamento 02				Media
	Teste 5	Teste 6	Teste 7	Teste 8	
Moca 12 (%)	3,0	2,0	3,8	3,0	2,9
Chato 18 (%)	16,5	16,8	27,0	23,0	20,8
Moca 11 (%)	9,0	9,0	6,0	6,3	7,6
Chato 17 (%)	22,3	23,5	27,0	27,3	25,0
Chato 16 (%)	21,5	22,5	17,3	19,8	20,3
Moca 10 (%)	6,5	5,5	4,0	4,0	5,0
Fundo (%)	21,3	20,8	15,0	16,8	18,4
Catação (%)	4,5	4,3	5,0	5,5	4,8
Bica Corrida (%)	78,8	79,3	85,0	83,3	81,6
P17 acima (%)	50,8	51,3	63,8	59,5	56,3
Quebra (%)	25,8	25,0	20,0	22,3	23,3

QUADRO 33. Resultados médios da classificação por peneiras, relativo a testemunha 02

Classificação	Testemunha 02				Media
	Teste 5	Teste 6	Teste 7	Teste 8	
Moca 12 (%)	2,3	4,0	5,3	3,3	3,8
Chato 18 (%)	10,0	15,7	21,3	18,7	16,4
Moca 11 (%)	9,3	8,0	6,7	7,7	7,9
Chato 17 (%)	20,0	24,3	25,7	28,3	24,6
Chato 16 (%)	23,7	20,3	19,7	22,0	21,4
Moca 10 (%)	6,3	6,0	3,0	2,7	4,5
Fundo (%)	28,3	21,7	18,3	17,3	21,4
Catação (%)	4,0	6,0	4,7	4,0	4,7
Bica Corrida (%)	71,7	78,3	81,7	82,7	78,6
P17 acima (%)	41,7	52,0	59,0	58,0	52,7
Quebra (%)	32,3	27,7	23,0	21,3	26,1

Os resultados obtidos para a classificação da bica corrida, peneira 17 acima e quebra, tanto para o tratamento 02 quanto para a testemunha 02, apresentaram comportamento semelhante ao observado no tratamento 01 e testemunha 01, ou seja, melhor resultado para o tratamento em comparação a testemunha.

Portanto, a utilização dos tratamentos podem vir a contribuir com o aumento da rentabilidade do cafeicultor, no momento da comercialização, em função do maior rendimento da classificação por peneiras no padrão “bica corrida” e também pela menor porcentagem de quebra, comparativamente a secagem do café em terreiros suspensos. Resultados semelhantes também foram observados por PALACIN (2007), que obteve maior porcentagem de café retido na peneira 17/18 para o processo de secagem em terreiro secador, em comparação a secagem combinada e a secagem em terreiro de concreto.

4.3 Avaliação da eficiência energética

Os resultados encontrados da análise de eficiência energética do sistema de secagem proposto encontram-se relacionados nos QUADROS 34 e 35, para os tratamentos 01 e 02, respectivamente.

QUADRO 34. Resultados da eficiência energética observados no tratamento 01

Parâmetros	Teste 02	Teste 03	Teste 04	Teste 09
1) Dos grãos	----	----	----	----
Umidade inicial, % b.u.	28,88	38,95	30,83	34,01
Umidade final, % b.u.	12,47	11,11	11,57	11,79
Temperatura inicial, °C	16,1	8,9	15,3	13,0
Temperatura final, °C	24,0	25,6	23,5	28,7
Massa esp. aparente inicial, kg m ⁻³	426,8	492,3	445,7	443,3
Massa esp. aparente final, kg m ⁻³	419,5	422,6	418,6	403,2
Massa de produto úmido, kg	717	794	744	752
Massa de água evaporada, kg	134	249	162	189
Porcentagem de impureza final, (%)	1,17	0,58	1,31	1,38
2) Do ar	----	----	----	----
Temperatura do ar ambiente, °C	15,9	16,6	15,5	16,6
Umidade relativa do ar ambiente, %	70,2	63,1	60,0	59,4
Temp. ar no plenum superior, °C	44,6	44,9	44,0	44,7
Temp. ar no plenum inferior, °C	44,3	44,7	43,6	43,8
Temperatura do ar de exaustão, °C	29,0	28,5	29,9	29,1
Umidade relativa do ar exaustão, %	44,8	45,3	40,5	39,0
3) Do secador	----	----	----	----
Volume total do secador, m ³	1,55	1,55	1,55	1,55
Volume de cada câmara de secagem, m ³	0,25	0,25	0,25	0,25
Vazão do ar de exaustão, m ³ min ⁻¹	33,3	33,9	34,3	34,7
Vazão específica de ar, m ³ min ⁻¹ m ⁻³	21,5	21,8	22,1	22,4
Vazão mássica de grãos, kg min ⁻¹	64,0	55,7	54,5	52,5
Pressão estática no plenum de exaustão (mmca)	-68,7	-69,3	-69,2	-68,6
Tempo de carregamento, min	23	23	16	20
Tempo de descarregamento, min	7	10	10	12
Tempo de operação elevador, h	2,7	4,1	2,9	3,5
Tempo de operação ventilador, h	22,0	35,0	25,2	28,6
4) Da energia	----	----	----	----
Consumo de combustível, kg	68,0	96,9	64,3	93,6
Poder calorífico inferior úmido, kJ kg ⁻¹	27.792,0	28.623,8	28.208,0	27.749,0
Consumo energia elevador, kJ	9.494,6	14.402,0	10.419,2	12.552,8
Consumo energia ventilador, kJ	77.877,2	124.071,4	89.479,0	101.542,0
5) Do desempenho	----	----	----	----
Tempo total de secagem, h	33,5	56,7	36,6	51,4
Tempo efetivo de secagem, h	22,0	35,0	25,2	28,6
Número de períodos de repouso	1	2	1	2
Umidade removida, % b.u.	16,41	27,84	19,26	22,22
Consumo específico de energia, kJ kg ⁻¹ de água evaporada				
a) sem energia elétrica	14.063,2	11.147,8	11.193,2	13.704,0
b) com energia elétrica	14.713,2	11.704,7	11.809,7	14.306,3

QUADRO 35. Resultados da eficiência energética observados no tratamento 02

Parâmetros	Teste 05	Teste 06	Teste 07	Teste 08
1) Dos grãos	----	----	----	----
Umidade inicial, % b.u.	28,18	32,7	27,2	25,41
Umidade final, % b.u.	12,65	10,56	11,45	11,55
Temperatura inicial, °C	11,6	13,6	14,1	12,3
Temperatura final, °C	35,4	36,0	37,7	41,1
Massa esp. aparente inicial, kg m ⁻³	418,1	443,0	414,8	397,2
Massa esp. aparente final, kg m ⁻³	438,6	427,3	430,5	426,9
Massa de produto úmido, kg	671	754	696	661
Massa de água evaporada, kg	119	187	124	104
Porcentagem de impureza final, (%)	0,82	0,63	0,67	0,81
2) Do ar	----	----	----	----
Temperatura do ar ambiente, °C	16,2	15,1	18,0	21,9
Umidade relativa do ar ambiente, %	59,0	62,4	57,1	47,6
Temp. ar no plenum superior, °C	71,4	69,6	70,0	70,0
Temp. ar no plenum inferior, °C	71,7	69,0	69,6	69,4
Temperatura do ar de exaustão, °C	34,7	33,5	35,6	37,2
Umidade relativa do ar exaustão, %	44,7	44,0	43,5	41,4
3) Do secador	----	----	----	----
Volume total do secador, m ³	1,55	1,55	1,55	1,55
Volume de cada câmara de secagem, m ³	0,25	0,25	0,25	0,25
Vazão do ar de exaustão, m ³ min ⁻¹	33,3	33,1	33,2	33,7
Vazão específica de ar, m ³ min ⁻¹ m ⁻³	21,5	21,3	21,4	21,7
Vazão mássica de grãos, kg min ⁻¹	43,9	44,7	41,2	43,2
Pressão estática no plenum de exaustão (mmca)	-68,5	-68,2	-67,6	-66,9
Tempo de carregamento, min	16	19	19	23
Tempo de descarregamento, min	12	10	12	9
Tempo de operação elevador, h	9,9	15,1	10,0	8,5
Tempo de operação ventilador, h	9,5	14,7	9,5	8,0
4) Da energia	----	----	----	----
Consumo de combustível, kg	42,9	67,2	48,0	38,2
Poder calorífico inferior úmido, kJ kg ⁻¹	27.789,1	28.213,8	27.370,0	27.749,0
Consumo energia elevador, kJ	34.463,0	52.616,1	34.706,4	29.490,0
Consumo energia ventilador, kJ	31.260,2	48.461,5	31.326,3	26.298,2
5) Do desempenho	----	----	----	----
Tempo total de secagem, h	9,5	26,1	9,5	8,0
Tempo efetivo de secagem, h	9,5	14,7	9,5	8,0
Número de períodos de repouso	0	1	0	0
Umidade removida, % b.u.	15,53	22,14	15,75	13,86
Consumo específico de energia, kJ kg ⁻¹ de água evaporada				
a) sem energia elétrica	9.993,1	10.158,1	10.601,4	10.234,0
b) com energia elétrica	10.544,0	10.699,7	11.134,8	10.772,6

a) Tratamento 01

Os resultados médios para o tratamento 01 demonstram que houve variação na massa inicial de produto em cada teste, que pode ser explicada em função da variação da massa específica aparente do café.

A vazão média do ar de exaustão, observada nos quatro testes realizados para o tratamento 01 foi de $34,05 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$, resultando em uma vazão específica média de $21,97 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ m}^{-3}$ de grão, com poucas variações entre os testes. O resultado de pressão estática média observada no plenum de exaustão foi de menos 68,95 mmca, também com poucas variações.

Com relação ao tempo de operação do elevador e do ventilador, pode-se observar resultados de valores expressivamente menores para o tempo de operação do elevador. Isto em função da utilização da secagem na qual o elevador foi utilizado apenas nos momentos de carregamento, revolvimento e descarregamento do secador. Já o ventilador permaneceu em operação por todo o tempo em que a massa de grãos foi submetida ao ar de secagem.

Os resultados esperados com a utilização de períodos de repouso são os de ocasionar menor consumo de energia durante a secagem, pelo fato de promoverem a migração de umidade nos grãos, a qual facilita a remoção de umidade. Entretanto, observou-se que o número de períodos de repouso, associado com o tempo deste período de repouso, pode vir a contribuir para um maior consumo de combustível, devido a necessidade de reaquecimento da fornalha após o período de repouso, e também do reaquecimento da massa de grãos, para a continuação do processo de secagem. Deste modo, pode-se constatar que a utilização de períodos de repouso para posterior complementação da secagem, sendo esta complementação da secagem realizada em poucas horas de funcionamento do sistema, contribui para o aumento no consumo específico de energia, ao invés de promover a redução do mesmo. Tal resultado pode ser analisado comparando-se os resultados para os testes 04 e 09, verificando-se os dados da curva de secagem (FIGURA 22) e o quadro da eficiência energética (QUADRO 34).

Portanto, acredita-se que o mais indicado seria submeter o café a secagem em terreiro até os níveis de aproximadamente 29 a 31%, para então ser carregado no secador. Tal medida se justifica pelo fato de que devem ser evitadas secagens nas quais após o período de repouso, o produto tenha a secagem

completada com período inferior a 9 horas, sendo que o recomendado é secar entre o intervalo de 9 a 12 horas.

Em relação ao tempo total de secagem e ao tempo efetivo de secagem, observam-se maiores valores de tempo total de secagem, pois neste parâmetro foi levado em consideração o tempo em que o produto permaneceu em repouso. Já para o cálculo do tempo efetivo de secagem, somente foi considerado o tempo em que o café ficou submetido ao ar de secagem.

Os resultados do consumo específico de energia para os quatro testes realizados com energia elétrica mostram o melhor desempenho para o teste 03. Dentre as prováveis explicações, pode-se citar a elevada umidade inicial do produto, pois a umidade dos grãos pode ser removida mais facilmente de grãos com alto teor de umidade em comparação aos grãos com baixo teor de umidade. Outro fato que pode ter contribuído para a melhor performance do teste 03 refere-se a utilização de dois períodos de repouso.

Seguindo o estudo da eficiência energética, o teste 04 apresentou o segundo melhor desempenho, com resultados um pouco maiores de consumo específico de energia do que os encontrados no teste 03, apresentando a umidade inicial de 30,83% b.u., aproximadamente oito pontos abaixo da umidade inicial apresentada pelo teste 03.

Em relação ao teste 09, pode-se observar que o resultado foi o terceiro menor consumo específico de energia, dentre os quatro testes realizados, porém com expressiva diferença em relação ao teste 04 e 03. Tal resultado pode ter sido influenciado pela utilização de um segundo período de repouso com posterior curto período de operação do sistema, para a finalização da secagem. Deste modo, acabou-se provocando acréscimo no gasto de energia para o aquecimento da fornalha e da massa de grãos, para poucas horas de funcionamento, comprometendo o resultado.

b) Tratamento 02

No que se refere aos resultados médios obtidos para o tratamento 02, pode-se verificar que a umidade inicial variou de 25,41% até 32,7%, tendo como resultado médio final a umidade de 11,55%.

Observou-se também que o tempo de operação do elevador apresentou resultados maiores do que os encontrados para o ventilador. Isto pode ser explicado pelo fato de que, o elevador de caçambas promoveu o revolvimento da

massa de grãos todo o tempo em que o produto foi submetido ao ar de secagem, sendo a diferença no tempo de operação atribuída ao tempo em que o elevador teve que ser acionado para promover o carregamento e o descarregamento do secador.

Os resultados para o tempo total e efetivo de secagem mostram apenas uma diferença nestes dois tempos para o teste 06, justificado pela necessidade de utilização de um período de repouso.

Na análise da eficiência energética dos testes realizados, por meio do consumo específico de energia, observa-se o melhor resultado para o teste 05. Entretanto, este resultado pode estar comprometido em função da umidade final observada, um pouco acima do resultado preconizado. Já o segundo melhor resultado foi observado para o teste 06, em que foi utilizado um período de repouso. Como após o período de repouso o término da secagem foi realizado em poucas horas, pressupõem-se que a utilização deste período de repouso pode ter provocado maior gasto de energia (com o aquecimento da fornalha e reaquecimento da massa de grãos) do que uma economia de energia em função da migração de umidade no interior dos grãos. Mesmo assim, seu resultado foi bastante satisfatório em comparação aos demais testes.

Neste contexto, o teste 08 apresentou o terceiro melhor resultado, e o maior consumo específico de energia foi observado no teste 07, o qual poderia ter apresentado resultado semelhante ao teste 05 pela semelhante massa de água evaporada. Entretanto, a diferença encontrada pode ser atribuída, no teste 05, a redução de umidade que ocorreu em uma faixa de umidade mais alta da realizada no teste 07, na qual a umidade é removida da massa de grãos com maior facilidade.

Portanto, os dados relativos à eficiência energética permitem observar que a aplicação do tratamento 02, para o referido sistema de secagem e as condições de operação, seria otimizado para a secagem de café com níveis de umidade inicial entre 29,0 e 31,0 %.

Ao se comparar o tratamento 01 e o tratamento 02, em relação as curvas de secagem (FIGURAS 22 e 23) e os resultados de eficiência energética (QUADROS 34 e 35), pode-se observar que a faixa de umidade inicial recomendada para manejo do secador, buscando-se a melhor utilização do sistema, para os dois tratamentos foi bastante semelhante, entre 29 e 32% (b.u.).

Outra observação importante se refere ao tempo total de secagem para os níveis de umidade inicial recomendados, para cada tratamento, em que ao se aplicar o tratamento 01 o tempo total requerido foi de aproximadamente 24 horas de secagem mais 12 horas de período de repouso. Já para o tratamento 02, com os mesmos níveis iniciais de umidade, o tempo total de secagem exigiu apenas 12 hora de secagem. Isto faz com que a opção de secagem na qual utiliza-se o tratamento 01 mantenha o sistema ocupado por um maior período de tempo, até se processar a secagem. Já com a aplicação do tratamento 02, para os mesmos níveis de umidade inicial, pode-se ter um maior rendimento do sistema de secagem no período de safra, ou seja, a capacidade de secagem dobrada.

Ao comparar a eficiência energética entre os tratamentos 01 e 02, pode-se observar que, para testes com níveis de umidade iniciais semelhantes (teste 04 relativo ao tratamento 01; teste 06 relativo ao tratamento 02), melhores resultados de eficiência energética foram obtidos para o tratamento 02. Em outras palavras, o tratamento 02 apresentou resultados energéticos mais satisfatórios do que o tratamento 01. Resultados semelhantes de eficiência energética foram observados por FREIRE (1998) e OCTAVIANI (2005). FREIRE (1998) ao estudar a secagem intermitente de café despulpado a alta temperatura (temperatura do ar de secagem média de 75,3 °C), em um secador de fluxos contracorrentes e concorrentes, obteve resultado de 11.200 kJ kg⁻¹ de água evaporada, para redução de umidade do café de 24 para 14% (b.u.). OCTAVIANI (2005) secou café cereja descascado em um secador rotativo, com temperatura média do ar de secagem nos testes de 66,28 e 88,63 °C. A umidade média inicial e final foi de 48,7 e 11,6% (b.u.), respectivamente, obtendo como resultado médio a eficiência energética de 8.990 kJ kg⁻¹ de água evaporada. Entretanto, menores valores para o consumo específico de energia foram observados PINTO (1993), ao avaliar um secador intermitente de fluxos contracorrentes e concorrentes por meio da secagem de café coco.

4.4 Considerações finais

Durante o desenvolvimento deste sistema de secagem, foi proposto a avaliação do sistema de descarga de grãos. Foi monitorada a uniformidade de descarga, com a coleta de amostras nos pontos A, B, C e D do sistema de descarga. Os resultados médios da vazão mássica de produto, para os testes

realizados, encontram-se nos QUADROS 36 e 37, relativos ao tratamento 01 e 02, respectivamente.

QUADRO 36. Resultados médios da vazão mássica, nos pontos de coleta A, B, C e D, para o tratamento 01¹

Ponto de coleta	Teste 02		Teste 03		Teste 04		Teste 09	
	kg min ⁻¹	D.P.	kg min ⁻¹	D.P.	kg min ⁻¹	D.P.	kg min ⁻¹	D.P.
A	13,43	5,38	13,80	6,17	12,32	3,63	12,76	3,86
B	16,93	3,87	17,35	6,65	15,87	2,37	13,73	3,52
C	15,23	3,48	15,05	5,96	12,87	2,62	12,63	3,80
D	16,83	4,31	14,61	5,87	14,10	3,40	15,58	3,56

¹ D.P. = desvio padrão

QUADRO 37. Resultados médios da vazão mássica, nos pontos de coleta A, B, C e D, para o tratamento 02¹

Ponto de coleta	Teste 05		Teste 06		Teste 07		Teste 08	
	kg min ⁻¹	D.P.	kg min ⁻¹	D.P.	kg min ⁻¹	D.P.	kg min ⁻¹	D.P.
A	12,32	2,93	11,13	2,36	9,89	2,83	9,68	2,02
B	12,59	2,76	11,63	1,50	10,92	1,53	12,17	1,16
C	11,17	1,05	9,67	1,25	9,26	1,04	10,02	0,36
D	11,66	3,24	10,42	3,04	9,56	1,77	10,50	1,68

¹ D.P. = desvio padrão

Com os resultados obtidos para o tratamento 01, observa-se maiores valores de vazão mássica de grãos, comparativamente ao tratamento 02. Isto ocorreu porque, no tratamento 01, os grãos foram revolvidos por apenas 10 minutos a cada intervalo de 1,5 horas, havendo a necessidade de maior vazão mássica de grãos para o revolvimento do produto. Já no tratamento 02, os grãos permaneciam constantemente em revolvimento, sendo assim menor a vazão mássica de grãos.

Com relação à uniformidade de descarga, pode-se observar que no tratamento 01, em que foi utilizada maior vazão mássica de grãos no sistema de descarga, houve menor uniformidade, comparativamente ao tratamento 02.

Observações práticas realizadas durante a coleta destes dados, referem-se ao fato de que, como o sistema foi composto por duas “facas” que funcionavam independentemente, acionadas por dois registros, a regulagem de descarga tornou-se trabalhosa e lenta. Deste modo, recomenda-se a adaptação do controle do sistema de descarga para operar com o uso de um único registro.

Observou-se também que pequenas aberturas no sistema de descarga resultavam em grandes alterações na vazão mássica de grãos, o que deixava o sistema bastante sensível a variações da vazão à medida que os grãos secavam, pelo fato de escoarem com mais facilidade. Em algumas situações, matérias estranhas e impurezas de tamanho maiores do que os grãos, presentes na massa de grãos, provocavam obstruções no sistema de descarga, resultando em desuniformidade em função das pequenas aberturas utilizadas.

5 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos, para as condições experimentais em que foi realizado este estudo, pode-se concluir que:

a) em relação ao secador e ao sistema de secagem

1 - o secador é viável para a secagem de café com os dois estádios de secagem, concorrentes e contracorrentes, funcionando concomitantemente;

2 - o sistema de secagem proposto atendeu satisfatoriamente todas as necessidades requeridas para que fosse completada a secagem do café (processado na forma de cereja descascado), sendo viável para café com diferentes teores de água;

3 - a uniformidade da temperatura do ar de secagem permitiu uma boa caracterização dos dois tratamentos avaliados;

4 - a temperatura da massa de grãos, em ambos os tratamentos, permaneceram dentro dos padrões recomendados para café;

b) em relação à qualidade do produto

1 - maiores resultados para a condutividade elétrica e lixiviação de potássio foram observados para os tratamentos, comparativamente as testemunhas, indicando qualidade inferior;

2 - em pouco diferiram os resultados da análise sensorial (prova-de-xícara) e da determinação do tipo, para os tratamentos e as testemunhas;

3 - maiores rendimentos de peneira, para o café padrão bica corrida, foram obtidos para os tratamentos em relação às testemunhas, o que acaba resultando em maior rentabilidade no momento da comercialização do café;

4 - danos no pergaminho da massa de grãos foram observados em ambos os tratamentos, com maiores resultados para o tratamento 02 comparativamente as testemunhas;

5 - o peso de mil grãos e a análise da cor em pouco foram afetados pelos dois tratamentos utilizados, em relação às testemunhas;

c) em relação à eficiência energética

1 - a secagem intermitente com revolvimento contínuo a 70 °C resultou em menor consumo específico de energia, em relação a secagem intermitente com revolvimento intermitente a 45 °C;

2 - resultados maiores do que os esperados foram obtidos para a eficiência energética do sistema de secagem proposto;

3 - maior consumo específico de energia foi observado em testes cujo término da secagem ocorreu em poucas horas após o período de repouso;

d) em relação ao manejo do secador e recomendações práticas

1 - pouca mão-de-obra é necessária para a secagem do café em virtude do secador, do tipo de fornalha e do sistema de movimentação de grãos empregados;

2 - recomenda-se a secagem de café com níveis iniciais de umidade em torno de 29 e 30% b.u., para o secador desenvolvido e ambos os tratamentos utilizados;

3 - a recomendação da utilização da prática do período de repouso, para fins de economia de energia na secagem, é prática que deve levar em consideração o sistema de secagem bem como o seu manejo, a fim de se evitarem resultados contrários aos esperados.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFONSO JUNIOR, P.C. **Aspectos físicos, fisiológicos e de qualidade do café em função da secagem e do armazenamento.** Viçosa: 2001. 384 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

AFONSO JUNIOR, P.C.; CORRÊA, P.C.; GONELI, A.L.D.; SILVA, F.S. Contribuição das etapas de pré-processamento para a qualidade do café. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, Especial café, n. 8, p. 46-53, 2004.

ASHRAE. Sociedade de Engenheiros Americanos de Aquecimento, Refrigeração e Ar-condicionamento. **Handbook-Fundamentals.** Chapter 22 – Drying and storing selected farm crops, Atlanta, 1999. 12 p.

BAZZO, E. **Geração de vapor.** Florianópolis: Editora da UFSC, 1995. (Série didática).

BOREM, F.M.; REINATO, C.H.R. Qualidade do café despulpado submetido a diferentes processos de secagem. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, Especial café, n. 9, p. 25-31, 2006.

BORÉM, F.M.; CORADI, P.C.; SAATH, R.; OLIVEIRA, J.A. Qualidade do café natural e despulpado após secagem em terreiro e com altas temperaturas. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1609-1615, 2008.

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

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 8, de 11 de junho de 2003. **Regulamento técnico de identidade e de qualidade para a classificação do café beneficiado grão cru.** 2003. 11 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Informe estatístico do café.** Brasília: DCAF. 2009. Disponível em: < <http://www.agricultura.gov.br> >. Acesso em: 26 março 2009.

BROOKER, D.B.; BAKKER-ARKEMA, F.W.; HALL, C.W. **Drying and storage of grain and oilseeds.** The AVI Publishing, New York, 1992, 450 p.

CAMARGO, C.A. (Coord). **Conservação de energia na indústria de açúcar e do álcool.** São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1990. (Publicação IPT, 1817).

CORADI, P.C; BOREM, F.M; OLIVEIRA, J.A. Qualidade do café natural e despulpado após diferentes tipos de secagem e armazenamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Viçosa, v. 12, n. 2, p. 181-188, 2008.

DONZELES, S. M. L; SILVA, J.S; MAGALHÃES, E.A; ARAÚJO, R.F; SANTOS, I.C; MARTIN, S. **Técnicas para processamento de café e inovações tecnológicas acessíveis para produção de café com qualidade**. Belo Horizonte: Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais, 2008. (Boletim técnico nº 83).

FAO. **Secado de granos y secadoras**. Oficina Regional para America Latina Y el Caribe, Santiago, Chile 1996. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/x5028s/x5028s00.htm>>. Acesso Em 21/09/2007.

FREIRE, A T. **Projeto e avaliação de um sistema para secagem combinada de café (*Coffea arabica* L.) despulpado**. Viçosa: UFV, 1998. 76p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 1998.

FRANCIS, F.J. Color quality evaluation of horticultural crops. **Hortscience**, v. 15, n. 1, p. 58-59, 1975.

GOULART, P.F.P; ALVES, J.D; CASTRO, E.M; FRIES, D.D; MAGALHÃES, M.M; MELO, H.C. Aspectos histoquímicos e morfológicos de grãos de café de diferentes qualidades. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 3, p. 662-666, 2007.

GOULART, P.F.P; ALVES, J.D; MALTA, M.R; MAGALHÃES, M.M; PEREIRA, R.G.F.A; MEYER, L.E. Análise comparativa entre lixiviação de potássio, condutividade elétrica, teor de ácido clorogênico e métodos de quantificação da atividade da polifenol oxidase em extratos semipurificados de amostras de café de diferentes padrões de qualidade. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, Especial café, n. 7, p. 78-85, 2003.

LACERDA FILHO, A.F.; SILVA, J.S. Secagem de café em combinação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, n. 3, v. 10, p. 671-678, 2006.

LACERDA FILHO, A.F.; SILVA, J.S. Secagem de café em secador de fluxos concorrentes. In: II SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL. **Anais...** Vitória: ES, 2001. p. 1007-1017.

LEITE, R.A; CORREA, P.C; OLIVEIRA, M.G.A; REIS, F.P; OLIVEIRA, T.T. Qualidade tecnológica do café (*Coffea arabica* L.) pré-processado por “via seca” e “via úmida” avaliada por método químico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 2, n.2, p. 308-311, 1998.

LITTLE, A.C. Off on a tangent. **Journal of Food Science**, v. 40, p. 410-411. 1975.

LOPES, R.P. **Desenvolvimento de um sistema gerador de calor com opção para aquecimento direto e indireto do ar**. Viçosa: 2002. 220 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.

LOPES, R.P; HARA, T; SILVA, J.S. Avaliação da qualidade de grãos de café pela colorimetria. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 6, n. 3, p. 160-169, 1998.

MALTA, M.R; CHAGAS, S.J.R; OLIVEIRA, W.M. Composição físico-química e qualidade do café submetido a diferentes formas de pré-processamento. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, Especial café, n. 6, p. 37-41, 2003.

- McGUIRE, R.B. Reporting of objective color measurements. **Hortscience**, v. 27, n. 12, p. 1254-1255. 1992.
- MILMAN, M.J. **Equipamentos para pré-processamento de grãos**. Pelotas: Ed. Universitária, 2002, 206 p.
- OCTAVIANI, J.C. **Avaliação de secadores horizontais rotativos com utilização de lenha e gás liquefeito de petróleo em secagem de café cereja descascado desmucilado**. 2005. 115 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.
- OSÓRIO, A.G.S. **Projeto e construção de um secador intermitente de fluxo concorrente e sua avaliação na secagem de café**. 1982. 57 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1982.
- PALACIN, J.J.F. **Avaliações energética e econômica de sistemas de produção de café de montanha**. 2007. 286 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.
- PALACIN, J.J.F.; LACERDA FILHO, A.F.; MELO, E.C.; SILVA, J.S.; DONZELES, S.M.L. Boas práticas para produzir café com qualidade. In: IV SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL. **Anais...** Londrina: PR, 2005. 5 p.
- PARDE, S.R.; JAYAS, D.S.; WHITE, N.D.G. Grain drying: a review. **Science des Aliments**, v.23, n.5/6, p.589-622, 2003.
- PIMENTA, C.J; PEREIRA, M.C; CHALFOUN, S.M; ANGÉLICO, C.L; CARVALHO, G.L; MARTINS, R.T. Composição química e avaliação da qualidade do café (*Coffea arabica* L.) colhido em diferentes épocas. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, Especial café, n. 10, p. 29-35, 2008a.
- PIMENTA, C.J; CHALFOUN, S.M; PEREIRA, M.C; ANGÉLICO, C.L; TAVARES, L.S; MARTINS, R.T. Avaliação físico-química e de qualidade do café (*Coffea arabica* L.) submetido a diferentes tempos de espera para secagem. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, Especial café, n. 10, p. 36-41, 2008b.
- PINTO, F.A.C. **Projeto de um secador de fluxos contracorrente/concorrente e análise de seu desempenho na secagem de café (*Coffea arabica*, L)**. 1993. 57 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1993.
- PINTO FILHO, G. L. **Desenvolvimento de um secador de fluxos cruzados com reversão do fluxo de ar e reaproveitamento do ar de resfriamento para a secagem de café (*Coffea arabica* L.)** Viçosa: UFV, 1994. 80p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 1994.
- PRETE, C.E.C. **Condutividade elétrica do exsudato de grãos de café (*Coffea arabica* L.) e sua relação com a qualidade da bebida**. 1992. 125 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1992.
- SANTOS, M.A; CHALFOUN, S.M; PIMENTA, C.J. Influência do processamento por via úmida e tipos de secagem sobre a composição, físico química e química do café (*Coffea arabica* L.). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 1, p. 213-218, 2009.
- SANTOS, R.R.; LACERDA FILHO, A.F.; SILVA, J.S; MELO, E.C; Modificações técnicas e operacional em um secador rotativo para a secagem de café (*Coffea*

- arábica* L.). **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, Especial café, n. 9, p. 01-11, 2006.
- SILVA, J.S.; AFONSO, A.D.L.; DONZELLES, S.M.L.; NOGUEIRA, R.M. Secagem e secadores. In: SILVA, J.S. (Org.) **Secagem e armazenagem de produtos agrícolas**, Viçosa: Aprenda Fácil, 2008. p. 109-146.
- SILVA, J.S.; LACERDA FILHO, A.F; NOGUEIRA, R.M; VIEIRA, G. Manuseio de grãos. In: SILVA, J.S. (Org.) **Secagem e armazenagem de produtos agrícolas**, Viçosa: Aprenda Fácil, 2008b. p. 297-323.
- SILVA, J.S.; PINTO, F.A.C.; AFONSO, A.D.L. Desempenho de secadores e custo de secagem. Viçosa: **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 2, n. 4, 1992. 18 p. (Caderno didático).
- SILVA, J.S.; SAMPAIO, C.P.; MACHADO, M.C.; LO MONACO, P.A. Preparo, Secagem e Armazenagem. In: SILVA, J.S. (Org.) **Secagem e armazenagem do café: tecnologias e custos**. Viçosa:UFV, 2001. p. 01-60.
- SILVA, L.C. **Desenvolvimento e avaliação de um secador de café (*Coffea arábica* L.) intermitente de fluxos contracorrente**. 1991. 74 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1991.
- SILVA, O.F; COSTA, R.A; FARIAS, A.X; SOUZA, M.L.M; CORRÊA, T.B.S; FRAGA, M.E. Avaliação da composição química do café submetido a diferentes formas de preparo e tipos de terreiro de secagem. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, Especial café, n. 10, p. 01-08, 2008a.
- SILVA, R.F.; PEREIRA, R.G.; BORÉM, F.M.; SILVA, V.A. Altitude e a qualidade do café cereja descascado. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, Especial café, n. 9, p. 40-47, 2006.
- VASCONCELOS, A.L.S; BATOMARCO, L.R; FRANCA, A.S; GLORIA, M.B.A. Caracterização físico-química de grãos defeituosos e sadios de café. In: IV SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL. **Anais...** Londrina: PR, 2005. 5 p.
- VIEIRA, R.D. Teste de condutividade elétrica. In: VIEIRA, R.D.; CARVALHO, N.M. **Testes de vigor em sementes**, Jaboticabal:FUNEP, 1994. p. 103-132.
- VILELA, E.R. Secagem e qualidade do café. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte-MG, v. 18, n. 187, p. 55-63, 1997.
- VILELA, E.R; CHANDRA, P.K; OLIVEIRA, G.A. Efeito da temperatura e umidade relativa no branqueamento de grãos de café. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, Especial café, n. 1, p. 31-37, 2000.

7 APÊNDICE

QUADRO 01A. Resultados médios da temperatura do ar ambiente, ar de secagem (temperatura do plenum superior e inferior), ar de exaustão, umidade relativa do ar ambiente e ar de exaustão, relativos ao teste 02 (tratamento 01)¹

Tempo (h)	Temperatura (°C)				Umidade Relativa (%)		
	Ambiente	Plenum Superior	Plenum Inferior	Exaustão	Ambiente	Exaustão Antes Revolvimento	Exaustão Após Revolvimento
0	16,5	45,0	43,8	19,6	70,4	85,3	XX
1,5	19,4	46,9	46,3	31,1	57,0	45,6	70,7
3	20,3	44,1	43,8	30,1	57,9	44,9	60,0
4,5	19,3	45,4	45,2	29,9	61,3	45,9	57,0
6	16,2	43,8	43,4	29,5	74,7	46,5	56,7
7,5	14,0	43,6	43,3	28,7	79,6	44,0	59,0
9	13,0	43,5	43,3	28,3	78,8	42,6	57,2
10,5	12,4	45,2	45,1	29,6	79,1	42,3	56,4
12	11,4	47,4	47,2	28,9	82,0	40,4	54,6
Repouso	----	----	----	----	----	----	----
24	17,0	44,3	43,7	22,2	58,7	66,4	XX
25,5	18,2	42,2	41,7	29,3	57,5	38,9	52,7
27	18,8	43,3	43,1	30,7	61,4	36,6	47,3
28,5	17,5	47,3	47,3	34,2	69,6	34,6	45,4
30	15,6	44,7	44,4	31,5	75,1	37,4	46,7
31,5	13,4	44,5	44,4	31,2	79,2	32,8	44,0
33	12,0	43,2	43,1	29,8	81,5	33,2	46,2
Média	15,9	44,6	44,3	29,0	70,2	44,8	53,8
D.P.	2,9	1,5	1,6	3,5	9,7	13,4	7,4

¹ R = período de repouso de aproximadamente 12 horas; D.P.= desvio padrão.

QUADRO 02A. Resultados médios da temperatura do ar ambiente, ar de secagem (temperatura do plenum superior e inferior), ar de exaustão, umidade relativa do ar ambiente e ar de exaustão, relativos ao teste 03 (tratamento 01)¹

Tempo (h)	Temperatura (°C)				Umidade Relativa (%)		
	Ambiente	Plenum Superior	Plenum Inferior	Exaustão	Ambiente	Exaustão Antes Revolvimento	Exaustão Após Revolvimento
0	16,1	45,4	44,2	18,3	53,8	83,5	XX
1,5	18,5	45,7	45,1	25,2	47,9	44,5	72,5
3	19,7	44,6	44,2	27,3	42,9	42,3	53,1
4,5	18,8	44,3	44,0	29,9	52,7	43,3	52,9
6	16,9	45,9	45,6	29,3	65,8	45,2	54,7
7,5	13,5	44,7	44,6	29,6	77,2	46,4	57,7
9	11,4	45,0	44,8	27,2	78,2	46,7	54,3
10,5	10,9	46,9	46,9	28,4	78,3	45,7	55,1
12	11,0	44,5	44,4	26,4	79,8	44,3	55,4
Repouso	----	----	----	----	----	----	----
24	15,3	43,4	42,6	19,3	69,1	81,5	XX
25,5	18,1	45,7	45,3	27,0	58,8	46,8	61,9
27	19,6	45,8	45,6	29,3	50,7	42,5	53,0
28,5	19,2	44,2	43,9	29,4	53,9	42,6	50,6
30	18,8	45,9	45,7	30,0	53,4	40,2	48,9
31,5	15,9	47,3	47,2	30,4	70,6	42,5	59,7
33	15,8	44,4	44,3	29,9	67,3	40,1	51,1
34,5	15,7	44,6	44,6	30,9	70,7	41,5	52,1
36	12,9	45,3	45,1	29,7	79,7	41,3	47,8
Repouso	----	----	----	----	----	----	----
48	15,4	44,5	44,0	22,0	72,8	73,0	XX
49,5	17,2	46,4	46,1	28,8	63,4	39,4	52,8
51	19,3	41,9	41,8	30,5	57,6	35,4	46,3
52,5	20,7	47,1	47,0	34,3	51,4	31,7	39,4
54	20,4	43,9	44,0	34,5	50,3	31,1	36,9
55,5	18,5	43,8	44,4	32,7	57,3	29,6	38,7
57	14,6	41,7	42,6	31,6	73,4	31,1	40,0
Média	16,6	44,9	44,7	28,5	63,1	45,3	51,6
D.P.	2,9	1,4	1,3	3,9	11,4	13,9	8,2

¹ R = período de repouso de aproximadamente 12 horas; D.P. = desvio padrão.

QUADRO 03A. Resultados médios da temperatura do ar ambiente, ar de secagem (temperatura do plenum superior e inferior), ar de exaustão, umidade relativa do ar ambiente e ar de exaustão, relativos ao teste 09 (tratamento 01)¹

Tempo (h)	Temperatura (°C)				Umidade Relativa (%)		
	Ambiente	Plenum Superior	Plenum Inferior	Exaustão	Ambiente	Exaustão Antes Revolvimento	Exaustão Após Revolvimento
0	14,8	44,0	43,2	18,8	68,5	79,6	XX
1,5	16,7	44,4	43,0	29,9	60,6	49,2	69,1
3	19,5	44,7	44,0	28,5	52,1	41,2	56,1
4,5	22,2	45,5	44,7	32,4	44,0	38,7	49,4
6	22,1	44,4	43,6	31,9	50,1	39,5	45,6
7,5	17,2	42,9	42,0	30,3	61,4	39,4	51,2
9	13,5	44,2	43,2	29,3	69,2	39,6	48,7
10,5	11,2	43,4	42,4	29,5	74,8	36,7	54,4
12	9,4	43,2	42,2	27,6	77,2	34,5	46,7
Repouso	----	----	----	----	----	----	----
24	6,5	44,9	44,0	17,2	77,1	49,6	XX
25,5	14,6	46,1	45,4	27,7	64,5	37,6	58,3
27	18,2	45,8	45,1	28,9	50,0	33,9	49,6
28,5	21,0	44,5	43,8	31,3	44,0	33,4	40,6
30	22,3	45,3	44,3	32,8	40,7	31,1	37,8
31,5	22,8	44,9	44,1	34,3	36,8	31,7	37,8
33	19,0	46,5	46,0	32,8	58,9	32,7	41,4
34,5	14,6	44,0	43,2	31,9	70,3	32,5	44,0
36	11,9	45,5	44,4	30,5	74,3	29,4	41,1
Repouso	----	----	----	----	----	----	----
48	14,8	45,7	45,1	23,5	65,0	48,5	XX
49,5	17,4	45,1	44,4	30,4	57,2	31,4	43,5
51	19,4	43,3	42,6	32,6	50,7	28,2	37,9
Média	16,6	44,7	43,8	29,1	59,4	39,0	47,4
D.P.	4,5	1,0	1,1	4,4	12,4	11,2	8,3

¹ R = período de repouso de aproximadamente 12 horas; D.P. = desvio padrão.

QUADRO 04A. Resultados médios da temperatura do ar ambiente, ar de secagem (temperatura do plenum superior e inferior), ar de exaustão, umidade relativa do ar ambiente e ar de exaustão, relativos ao teste 05 (tratamento 02)¹

Tempo (h)	Temperatura (°C)				Umidade Relativa (%)	
	Ambiente	Plenum Superior	Plenum Inferior	Exaustão	Ambiente	Exaustão
0	11,2	69,7	67,9	21,0	79,8	81,6
1,5	14,2	71,5	71,2	31,3	60,9	49,5
3	16,4	74,0	74,3	35,3	52,6	43,1
4,5	20,0	71,1	72,2	36,6	50,8	39,9
6	19,9	72,2	72,7	39,6	48,1	36,6
7,5	18,5	74,9	76,2	40,4	49,0	31,8
9	13,0	66,4	67,2	38,3	71,5	30,0
Média	16,2	71,4	71,7	34,7	59,0	44,7
D.P.	3,5	2,8	3,2	6,8	12,4	17,6

¹ R = período de repouso de aproximadamente 12 horas; D.P. = desvio padrão.

QUADRO 05A. Resultados médios da temperatura do ar ambiente, ar de secagem (temperatura do plenum superior e inferior), ar de exaustão, umidade relativa do ar ambiente e ar de exaustão, relativos ao teste 07 (tratamento 02)¹

Tempo (h)	Temperatura (°C)				Umidade Relativa (%)	
	Ambiente	Plenum Superior	Plenum Inferior	Exaustão	Ambiente	Exaustão
0	15,4	70,5	68,5	23,1	65,0	75,9
1,5	18,0	70,2	69,8	33,6	56,4	46,6
3	19,2	72,3	72,0	35,7	50,6	43,8
4,5	21,0	66,5	65,8	37,2	45,5	38,3
6	21,0	70,1	70,2	39,5	46,3	35,3
7,5	16,5	70,8	70,6	40,0	65,9	33,5
9	14,5	69,3	70,4	40,0	69,7	30,7
Média	18,0	70,0	69,6	35,6	57,1	43,5
D.P.	2,6	1,8	2,0	6,0	9,9	15,4

¹ R = período de repouso de aproximadamente 12 horas; D.P. = desvio padrão.

QUADRO 06A. Resultados médios da temperatura do ar ambiente, ar de secagem (temperatura do plenum superior e inferior), ar de exaustão, umidade relativa do ar ambiente e ar de exaustão, relativos ao teste 08 (tratamento 02)¹

Tempo (h)	Temperatura (°C)				Umidade Relativa (%)	
	Ambiente	Plenum Superior	Plenum Inferior	Exaustão	Ambiente	Exaustão
0	13,5	69,8	67,7	22,9	76,9	78,2
1,5	20,4	70,6	70,2	35,4	50,6	43,6
3	23,7	70,7	70,3	37,7	39,6	38
4,5	25,8	68,9	68,4	40,0	34,9	32,6
6	26,0	69,6	69,3	43,0	32,6	28,5
7,5	22,1	70,7	70,8	44,2	51,2	27,3
Média	21,9	70,0	69,4	37,2	47,6	41,4
D.P.	4,7	0,7	1,2	7,7	16,3	19,0

¹ R = período de repouso de aproximadamente 12 horas; D.P. = desvio padrão.

QUADRO 07A. Resultados médios de temperatura da massa de grãos no secador, relativos ao teste 02 (tratamento 01), em função do tempo de secagem

Tempo (h)	Pontos de leitura no secador							
	1	2	3	6	7	9	10	
0	18,5	15,4	15,3	15,2	17,8	15,0	15,3	
1,5	24,6	24,2	24,2	23,2	22,9	20,5	21,1	
3	24,8	25,9	25,9	29,0	26,7	25,9	25,9	
4,5	24,3	26,4	27,5	29,4	27,4	26,2	26,4	
6	22,2	25,1	27,3	28,2	27,2	25,8	23,0	
7,5	18,4	21,2	23,0	27,3	26,6	25,5	23,0	
9	22,5	26,1	26,5	27,6	27,0	23,3	19,6	
10,5	21,5	25,7	27,8	26,3	25,1	25,2	21,2	
12	19,3	23,3	23,8	27,3	26,6	23,3	14,6	
Repouso	----	----	----	----	----	----	----	
24	17,7	16,8	17,4	20,9	18,2	17,7	18,7	
25,5	21,1	25,0	27,7	26,4	25,5	25,2	23,1	
27	24,7	27,7	28,0	30,0	29,0	25,1	22,7	
28,5	27,3	30,7	30,2	31,0	31,0	27,8	25,7	
30	22,9	28,2	29,1	31,8	30,2	26,1	16,8	
31,5	20,7	29,1	29,7	27,5	27,9	26,6	19,0	
33	21,5	28,2	28,8	26,6	26,6	24,8	14,9	

QUADRO 08A. Resultados médios de temperatura da massa de grãos no secador, relativos ao teste 03 (tratamento 01), em função do tempo de secagem

Tempo (h)	Pontos de leitura no secador						
	1	2	3	6	7	9	10
0	14,7	11,1	11,2	10,5	13,0	10,9	11,5
1,5	16,1	15,6	18,6	30,5	25,6	22,9	21,8
3	19,6	21,5	26,1	26,1	25,5	23,1	22,4
4,5	24,5	26,6	27,4	26,5	26,8	25,8	24,9
6	23,0	22,8	23,9	27,8	26,9	24,2	22,4
7,5	17,8	19,4	21,8	26,1	27,0	18,5	17,2
9	19,4	21,3	22,9	25,9	24,9	22,7	13,8
10,5	21,8	22,3	23,2	26,5	25,2	24,4	18,5
12	24,0	21,4	21,1	28,6	26,3	24,7	15,5
Repouso	----	----	----	----	----	----	----
24	14,2	13,7	15,1	18,4	15,5	15,4	15,2
25,5	21,1	23,6	24,2	24,8	24,3	22,0	20,5
27	26,0	26,1	27,0	27,5	26,2	25,4	23,3
28,5	23,4	25,6	27,9	27,1	26,0	26,1	22,9
30	25,6	27,1	27,7	28,2	27,7	26,7	22,9
31,5	23,0	24,7	26,6	28,9	27,5	25,6	18,4
33	26,0	28,4	28,2	28,0	26,7	24,6	18,1
34,5	25,9	27,1	28,4	28,6	27,4	24,6	18,6
36	18,4	24,6	30,3	27,4	27,4	22,4	15,2
Repouso	----	----	----	----	----	----	----
48	15,3	16,3	17,9	19,2	20,7	18,2	17,3
49,5	23,5	25,0	25,8	28,2	25,7	24,9	21,0
51	22,4	23,1	24,4	28,6	26,7	25,2	21,7
52,5	27,3	28,9	30,2	30,1	28,6	28,9	25,6
54	25,7	32,8	34,4	29,6	30,0	28,7	25,9
55,5	25,1	33,6	34,8	30,3	30,1	26,3	19,6
57	19,8	25,5	30,7	29,5	26,9	21,7	18,1

QUADRO 09A. Resultados médios de temperatura da massa de grãos no secador, relativos ao teste 09 (tratamento 01), em função do tempo de secagem

Tempo (h)	Pontos de leitura no secador						
	1	2	3	6	7	9	10
0	13,2	12,5	13,0	12,8	12,2	13,2	13,3
1,5	21,1	27,5	26,1	26,3	23,1	25,0	23,7
3	19,5	19,9	23,0	26,8	25,0	23,0	21,6
4,5	28,6	29,4	29,4	27,4	27,9	24,7	25,4
6	25,8	28,0	28,7	29,4	28,7	26,3	26,0
7,5	20,7	23,9	24,0	31,3	28,3	25,6	23,5
9	18,5	23,2	26,4	26,1	26,4	21,9	19,6
10,5	18,4	24,7	26,8	24,7	25,2	19,9	19,6
12	13,2	15,9	21,0	25,3	24,9	19,1	15,3
Repouso	----	----	----	----	----	----	----
24	8,0	8,8	11,3	13,3	11,4	8,6	8,6
25,5	17,9	20,6	24,4	24,2	25,0	20,8	19,9
27	22,1	26,9	27,4	28,1	27,9	24,4	22,9
28,5	23,3	26,3	27,5	28,7	27,4	27,9	26,2
30	25,9	30,3	30,5	30,5	31,1	28,0	28,1
31,5	25,9	31,7	33,1	31,5	32,2	29,4	29,2
33	23,9	28,6	32,0	31,6	31,0	28,9	25,6
34,5	21,4	27,6	28,3	30,5	28,4	26,5	21,8
36	16,8	28,8	28,6	30,9	28,1	26,7	14,0
Repouso	----	----	----	----	----	----	----
48	14,5	15,0	15,6	18,5	18,6	18,4	15,8
49,5	21,8	25,5	30,8	27,8	28,4	25,3	22,4
51	25,3	29,6	31,4	29,4	29,1	29,6	23,7

QUADRO 10A. Resultados médios de temperatura da massa de grãos no secador, relativos ao teste 05 (tratamento 02), em função do tempo de secagem

Tempo (h)	Pontos de leitura no secador						
	1	2	3	6	7	9	10
0	22,6	23,8	24,5	21,9	21,1	18,7	19,0
1,5	33,6	34,8	35,8	33,3	32,8	31,6	30,8
3	38,5	39,6	40,7	37,8	36,6	35,5	30,0
4,5	38,2	39,5	40,5	37,2	37,0	36,0	29,6
6	41,3	43,0	44,5	40,6	39,9	37,7	32,6
7,5	40,4	41,0	41,8	41,0	40,6	39,7	31,7
9	41,2	41,9	43,0	38,7	38,2	34,2	26,7

QUADRO 11A. Resultados médios de temperatura da massa de grãos no secador, relativos ao teste 07 (tratamento 02), em função do tempo de secagem

Tempo (h)	Pontos de leitura no secador						
	1	2	3	6	7	9	10
0	23,35	25,79	27,475	24,49	23,21	20,95	21,13
1,5	34,85	36,07	37,08	34,57	34,05	32,98	33,09
3	37,78	39,16	40,34	37,58	37,06	35,45	33,6
4,5	37,78	38,81	39,78	37,64	37,14	36,41	34,61
6	40,78	41,94	43,09	39,71	39,15	38,56	34,42
7,5	41,13	41,89	42,855	42,12	41,70	38,03	27,63
9	41,34	42,41	43,44	42,38	41,91	36,51	23,50

QUADRO 12A. Resultados médios de temperatura da massa de grãos no secador, relativos ao teste 08 (tratamento 02), em função do tempo de secagem

Tempo (h)	Pontos de leitura no secador						
	1	2	3	6	7	9	10
0	23,9	25,0	25,8	23,5	22,4	20,2	20,3
1,5	36,2	37,1	38,1	36,0	35,6	34,0	34,3
3	39,0	40,2	41,5	39,1	38,5	36,1	34,9
4,5	42,2	43,6	45,2	41,1	40,4	38,5	37,7
6	43,2	44,0	44,9	43,1	42,9	41,3	38,7
7,5	45,3	46,0	46,8	44,9	44,6	41,5	34,5