

## Fornalha a Lenha para Secagem de Café e Grãos

Juarez de Sousa e Silva<sup>1</sup>  
Roberto Precci Lopes<sup>2</sup>  
Douglas Gonzaga Vitor<sup>3</sup>  
Sergio Maurício Lopes Donzeles<sup>4</sup>

### Introdução

Para a conservação de muitos produtos após a colheita, a secagem é uma operação imprescindível e, na maioria das vezes, constitui a etapa que demanda maior quantidade de energia durante o pré-processamento. Em geral, o aquecimento do ar utilizado nas operações de secagem provém da energia térmica produzida pela queima de biomassa, em dispositivos conhecidos como fornalhas.

No caso particular da cafeicultura, a lenha de eucalipto, os troncos do cafeeiro, originados da poda drástica ou renovação da lavoura, e a palha do café (não recomendada) têm sido as principais biomassas usadas para aquecer o ar de secagem.

Já o carvão vegetal, produzido com lenha de eucalipto ou de recepta do café, embora presente

melhores condições operacionais, é ainda pouco empregado na secagem do café. Com o objetivo de difundir essa tecnologia junto aos cafeicultores, a Embrapa Café publicou a Circular Técnica n. 2, Fornalha a Carvão para Secagem de Café e Grãos (SILVA et al., 2013). Essa circular fornece todos os detalhes para a construção e utilização de uma fornalha a carvão.

### Tipos de fornalhas para a secagem do café

Dependendo da forma de processamento do café (se via seca ou via úmida) e da qualidade da combustão, pode-se usar dois tipos de fornalhas para a secagem do café:

- **Fornalha com aquecimento direto** – Nesse tipo de fornalha, a energia térmica proveniente dos gases resultantes da combustão e misturada

<sup>1</sup>Engenheiro-agrônomo, Ph.D. em Engenharia Agrícola, Professor Titular (aposentado) da UFV e bolsista do Consórcio Pesquisa Café, Viçosa, MG, juarez@ufv.br

<sup>2</sup>Engenheiro-agrícola, doutor em Engenharia Agrícola, Professor Ajunto da UFV, Viçosa, MG, roberto.precci@ufv.br

<sup>3</sup>Engenheiro-agrônomo, bolsista do Consórcio Pesquisa Café (EPAMIG), Viçosa, MG, douglas.vitor@ufv.br

<sup>4</sup>Engenheiro-agrícola, doutor em Engenharia Agrícola, Pesquisador da EPAMIG, Viçosa, MG, slopes@ufv.br

com o ar ambiente é utilizada diretamente na secagem do café. Entretanto, a mistura de parte do gás comburente com os gases resultantes da combustão pode se tornar indesejável nos casos em que o processo de combustão é incompleto, gerando compostos contaminantes, como o monóxido de carbono e a fumaça. Com o aproveitamento direto da energia térmica dos gases da combustão, as fornalhas com aquecimento direto, quando sob combustão completa, apresentam maior rendimento. Nessas fornalhas, precisa ser acoplado um decantador tangencial ou ciclone, no qual as partículas, principalmente as incandescentes, entram em movimento espiral e são separadas do fluxo gasoso pela ação da força centrífuga.

- **Fornalha com aquecimento indireto** – Nas fornalhas com sistema de aquecimento indireto, a energia térmica dos gases provenientes da combustão é encaminhada a um trocador de calor, que tem a finalidade de aquecer, indiretamente, o ar de secagem ou uma segunda substância, como por exemplo, uma caldeira geradora de vapor. Nesse tipo de sistema, há perda de energia térmica pela chaminé e para o sistema, resultando em uma menor eficiência quando comparado à fornalha de aquecimento direto. As fornalhas com aquecimento indireto destinam-se a produtos agrícolas que requerem temperatura controlada e não muito alta durante a secagem, como na secagem de sementes, cacau e café cereja descascado. É esse tipo de fornalha que será descrita nesse trabalho.

Com relação à lenha, observa-se que as fornalhas com aquecimento indireto, em geral, apresentam excessiva perda de calor, consomem grande quantidade de combustível, não dispõem de mecanismos precisos para controle da combustão e da temperatura do ar de secagem e, apesar disso, são as mais usadas em secadores convencionais para café. Além das desvantagens apontadas, a fornalha com aquecimento indireto, quando a lenha é de má qualidade e não adequadamente seca, produz fumaça ao queimar, causando desconforto e deixando cheiro ou gosto no produto quando o trocador de calor ou um dos elementos de ligação com o ventilador são danificados pelo processo de corrosão (Figuras 1 e 2).

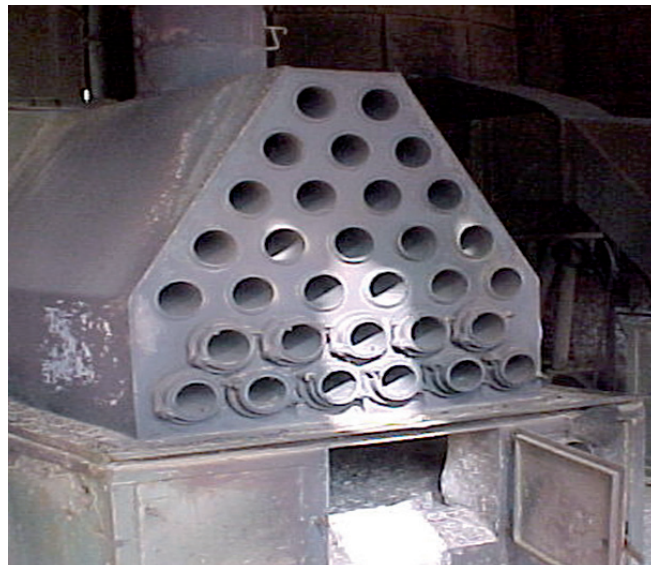


Figura 1. Vista frontal de um trocador de calor de uma fornalha a fogo indireto (ar/ar) com tubos reformados.

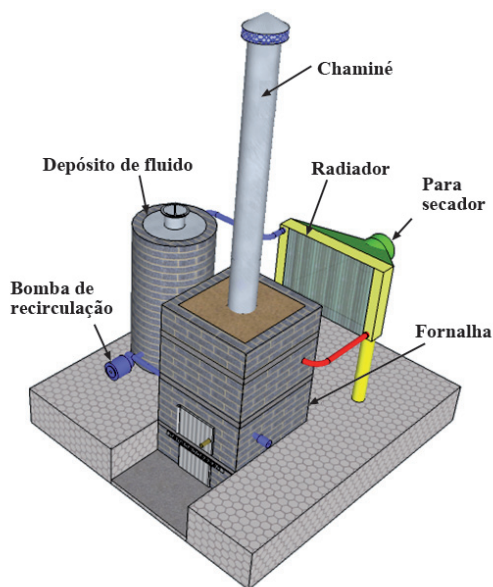


Figura 2. Detalhes de um trocador de calor (ar/ar) seriamente danificado pelo processo de corrosão.

Embora seja um combustível muito utilizado, a lenha requer fornalhas bem dimensionadas, construídas com materiais duráveis e critérios bem definidos para o seu uso (tamanho, qualidade, umidade do combustível, etc.).

Já as fornalhas com aquecimento indireto, quando utilizam trocadores de calor com fluidos térmicos (Figura 3), apresentam, além de outras vantagens, a facilidade do controle da temperatura do ar de secagem. Atualmente, na secagem de café,

têm sido empregadas caldeiras a vapor para o aquecimento indireto do ar. Embora seja uma tecnologia disponível e que resulta em produto de boa qualidade, as caldeiras são acessíveis somente aos grandes cafeicultores, sendo recomendadas para aqueles que operam dois ou mais secadores simultaneamente. O elevado custo de implantação de uma caldeira convencional e o pequeno volume de café produzido não permitem que os pequenos produtores possam usufruir dessa tecnologia como uma das opções para proporcionar melhorias na qualidade do café.

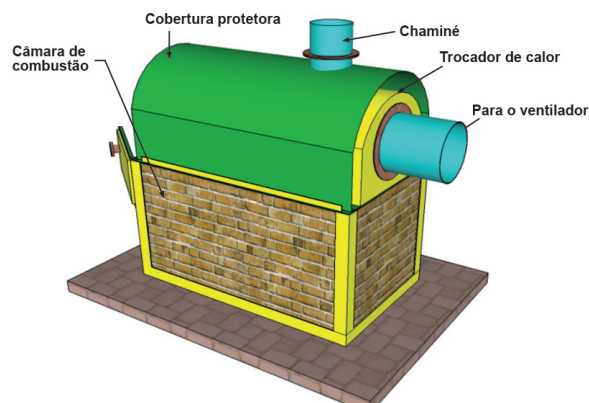


**Figura 3.** Fornalha com aquecimento indireto com autocontrole da temperatura máxima do ar de secagem.

O desinteresse das indústrias tradicionais de equipamentos para a cafeicultura em desenvolver sistemas de pequeno porte e compatíveis com o volume de produção dos pequenos cafeicultores é facilmente entendido por se tratar de equipamentos cujo retorno econômico não é vantajoso em relação aos de grande capacidade. Assim, as indústrias de pequeno porte e de caráter regional é que podem ter melhores condições de atender a esse segmento da cafeicultura.

Considerando-se: a) a dificuldade de produção, em grande escala, de fornalhas a lenha que sejam econômicas, duráveis e que possam ser utilizadas para a secagem de café cereja descascado, pela indústria nacional; b) as vantagens na queima direta da lenha como fonte de energia na secagem; c) o potencial de produção da lenha de eucalipto ou do resíduo da poda drástica do cafeeiro; d) o fato de a biomassa ser uma fonte renovável de energia; e)

a) a disponibilidade de produção da biomassa no local de uso; f) a importância da qualidade do ar para a secagem do café; e g) a necessidade de aprimorar um sistema já bastante difundido para a secagem do café, optou-se por disponibilizar um projeto (Figura 4) que possa ser executado com recursos de oficinas modestas, comandadas por pequenos empresários regionais.



**Figura 4.** Fornalha com trocador de calor (ar/ar) para a secagem de café.

## Fornalhas

O conhecimento do princípio de funcionamento de fornalhas e a operação adequada delas são condições imprescindíveis para o uso racional da energia na secagem do café e de grãos em geral.

Segundo Lopes (2002), fornalhas são dispositivos projetados para assegurar a queima completa do combustível, de modo eficiente e contínuo, em condições que permitam o aproveitamento da energia térmica liberada da combustão com maior rendimento térmico possível. O projeto de uma fornalha deve ser baseado nos 3 T's da combustão: temperatura, turbulência e tempo.

Para que ocorra a combustão completa do combustível, deve-se buscar uma mistura: ar-combustível, homogênea, na dosagem ideal e no tempo correto. Com isso, obtém-se aquecimento do combustível até a sua ignição autossustentável. Comumente, as fornalhas destinadas à queima de combustíveis sólidos não pulverizados, como a lenha ou carvão (de eucalipto ou da recepta do café), possuem os seguintes componentes:

**Depósito de combustível:** em caso de utilização de combustíveis como cavacos de madeira, carvão em fragmentos padronizados, “pellet” de biomassa, frutos secos de palmeiras, entre outros, algumas fornalhas apresentam um depósito de combustível para alimentação da grelha na câmara de combustão (Figura 5).



**Figura 5.** Fornalha com depósito de combustível para carvão ou briquetes de madeira, para secagem de grãos com queima direta do combustível.

**Câmara de combustão:** constitui o espaço destinado ao processo de combustão propriamente dito, onde todos os compostos combustíveis devem ser oxidados, liberando energia térmica (Figura 6).

O importante em qualquer fornalha é ter um bom dimensionamento da câmara de combustão, da área da grelha e da abertura do ar primário, a fim de que possa obter oxigênio em quantidade suficiente para, se convenientemente misturado com o combustível, gerar o máximo de gases quentes com o mínimo de fumaça.



**Figura 6.** Câmara de combustão da fornalha de uma pequena caldeira.

**Grelha:** é a estrutura que mantém o combustível sólido suspenso durante o processo de combustão, enquanto o ar comburente circula por sua superfície (Figura 7).



**Figura 7a.** Grelha para queima de carvão vegetal.



**Figura 7b.** Grelha para queima de lenha.

**Cinzeiro:** é o depósito localizado abaixo da grelha e destinado a armazenar os resíduos da combustão (cinzas e pequenas brasas). Para o bom funcionamento da fornalha, o cinzeiro deve ser limpo periodicamente.

**Entradas de ar:** entradas reguláveis, localizadas em pontos estratégicos no corpo da fornalha. São responsáveis pela passagem do ar comburente para o interior da fornalha e devem estar localizadas de forma que facilitem a mistura ar-combustível.

**Saídas dos gases:** são aberturas destinadas à saída dos gases resultantes da combustão e do excesso de ar comburente e que podem ser utilizados como fonte de energia térmica para diversas finalidades quando se trata do aquecimento direto. Para as fornalhas de aquecimento indireto, a saída dos gases ocorre pelo sistema chaminé (Figuras 3 e 4).

## Fornalha com aquecimento indireto para secagem de café

Nas fornalhas com sistema de aquecimento indireto, os gases provenientes da combustão são introduzidos num trocador de calor, que, em contato com o ar ambiente, o aquecerá. Nesse tipo de fornalha, há perdas de energia térmica pela chaminé e no trocador de calor, resultando em menor eficiência quando comparada com as fornalhas com aquecimento direto.

As fornalhas com aquecimento indireto são destinadas à secagem de produtos agrícolas, como cacau e café descascado ou despulpado, que requerem ar quente com temperatura relativamente baixa e sem elementos contaminantes, como fumaça e resíduos da combustão.

Um tipo bastante interessante possui um trocador de calor do tipo tubo-carcaça, câmara de combustão e aquecedor de fluido térmico. O ar frio, ao entrar pelos tubos do trocador de calor, é aquecido pelo fluido circulante na carcaça do trocador de calor, até uma temperatura máxima determinada pela temperatura de ebulição do fluido circulante e pelo comprimento do trocador de calor.

Além da grande durabilidade, por trabalhar com fluido térmico sob temperaturas relativamente baixas, a fornalha em questão apresenta como vantagem a não contaminação do ar de secagem, mesmo quando a combustão é incompleta. Esse aspecto é de especial atenção na secagem de café, pois, quando apresenta cheiro de fumaça, pode sofrer deságio por parte de alguns compradores. A Figura 8 ilustra uma fornalha com aquecimento indireto com fluido circulante que foi projetada e construída no Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa (DEA/UFV) para secagem de sementes.

Por outro lado, as fornalhas dotadas de trocador de calor ar/ar apresentam menor durabilidade quando construídas em aço carbono, devido à alta temperatura a que ficam submetidas as superfícies de troca. Com o tempo, são comuns o desgaste e a necessidade de reparos frequentes, para que não haja contaminação do produto com a fumaça que passa pelas perfurações nos tubos ou espelho do trocador.

As Figuras 1 e 2 mostram detalhes de uma fornalha com aquecimento indireto (ar/ar), muito comum na secagem de café. Na Figura 1, nota-se que a fornalha em questão já sofreu substituição de tubos inferiores mais próximos da chama. Se necessitar de uma reforma completa, como no caso da Figura 2, é melhor a aquisição de uma nova fornalha.

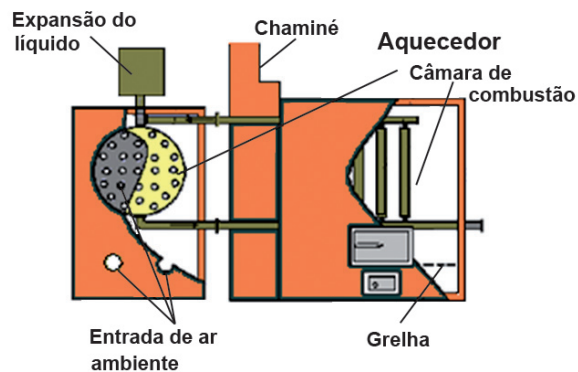


Figura 8a. Detalhes da fornalha de aquecimento indireto com autocontrole de temperatura máxima de secageml.

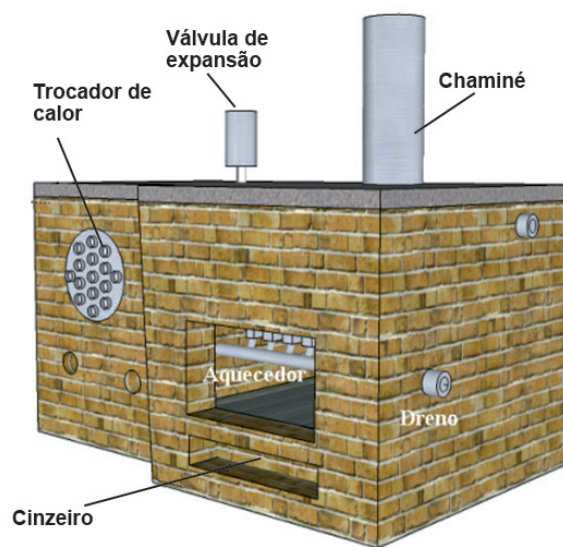


Figura 8b. Vista geral da fornalha de aquecimento indireto com autocontrole de temperatura máxima de secageml.

De modo geral, as fornalhas utilizadas na secagem de café permitem apenas uma opção para o aquecimento do ar, cuja preferência se dá pelo aquecimento indireto, por possibilitar a secagem com qualidade do café descascado, principalmente. Entretanto, quando se trata do café natural (em coco), essa forma de aquecimento apresenta-se ineficiente sob o ponto de vista da utilização racional da energia. Nesse sentido, os projetos modernos de aquecimento de ar que utilizam vapor (Figura 9) devem incorporar economizadores e/ou pré-aquecedores de ar, cujos benefícios resultam em economia de combustível e aumento de rendimento.

Uma fornalha com opção para aquecimento direto ou indireto do ar de secagem, de acordo com o café a ser secado, que permita o controle do processo de combustão e incorpore meios de aproveitamento da entalpia dos gases de combustão (Figura 10) foi recentemente desenvolvida e testada no DEA/UFV e muito contribuirá para o uso racional da energia na secagem de café (MELO, 2003). Nessa fornalha, a alimentação, no caso de biomassa fragmentada, é realizada por um transportador pneumático; e, quando se usa a lenha, é feita manualmente, pela porta da câmara de combustão.

Independentemente da forma de alimentação, a troca de calor é em fluxos contracorrentes (Figura 10). Quando se usam os gases de combustão, depois de a fornalha devidamente aquecida (após duas horas de funcionamento), fecha-se o registro da chaminé e abre-se o registro dos gases, que são mesclados com o ar aquecido pelo trocador de calor.



Figura 9. Linha de vapor e trocadores de calor ar/vapor empregados na secagem de café.



Figura 10. Fornalha com opção para aquecimento direto e indireto do ar de secagem.

## Fornalha Horizontal Tipo Tubo/Carcaça

A fornalha (Figura 4) proposta neste Comunicado Técnico foi desenhada para ser utilizada em secadores que demandam ao redor de 90 kg de ar quente por minuto, por serem os tamanhos mais adotados na cafeicultura.

Para maior durabilidade e menor custo de manutenção, os componentes metálicos da fornalha devem ser construídos em aço inox 304. Nada impede, entretanto, que a fornalha seja construída em aço carbono. No caso da última opção (aço carbono), o cafeicultor deve levar em consideração a possibilidade de, em um curto período, gastar tempo e dinheiro para corrigir os danos por corrosão térmica (Figuras 1 e 2) e sem garantia de bom funcionamento e durabilidade da reforma.

### Características da fornalha

Para atender às demandas energéticas de 2.800 kJ por minuto (em torno de 90 kg por minuto de ar de secagem com temperatura de 55°C, ou aproximadamente 80 m<sup>3</sup>/min), estabelecidas para os secadores mais comuns e utilizados na secagem do café, a fornalha, cujos componentes serão descritos mais adiante, deve apresentar as seguintes características:

- Área mínima de transferência de calor (4 m<sup>2</sup>). Essa área é a soma das superfícies dos tubos e a superfície da carcaça
- Altura da câmara de combustão (0,4 m). Distância entre a grelha e a primeira fila de tubos
- Área mínima da grelha (0,18 m<sup>2</sup>)
- Área livre da grelha (0,04 m<sup>2</sup>)
- Consumo aproximado de lenha seca de eucalipto (15 kg por hora)
- Comprimento de tubo (1 m)
- Diâmetro dos tubos (0,05 m)
- Número mínimo de tubos (17)
- Tensão térmica da grelha para o consumo em questão (450 kW.m<sup>-2</sup>)

## Componentes da fornalha

- **Base de sustentação:** deverá ser em aço inox 304, preferencialmente, e confeccionada com cantoneiras de abas iguais de 70 x 70 mm e espessura de 5 mm. As outras dimensões da base são mostradas na Figura 11.

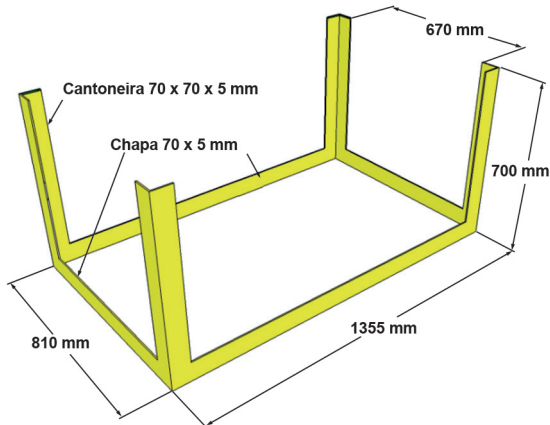


Figura 11. Base de sustentação da fornalha.

- **Plataforma de sustentação do trocador de calor e coletor:** deve ser confeccionada em chapas inox de 5 mm de espessura, convenientemente cortadas, que, depois de soldadas, ficam com a aparência de uma placa de 1.345 x 800 mm, com vazamento interno de 945 x 600 mm. Sobre as laterais da plataforma são soldadas as guias (duas de cada lado), para facilitar a retirada e a reposição da cobertura do trocador de calor durante a manutenção e limpeza das tubulações. As guias, também em aço inox, são constituídas de tiras de 5 x 30 x 1.227 mm. As outras dimensões da plataforma são mostradas na Figura 12.

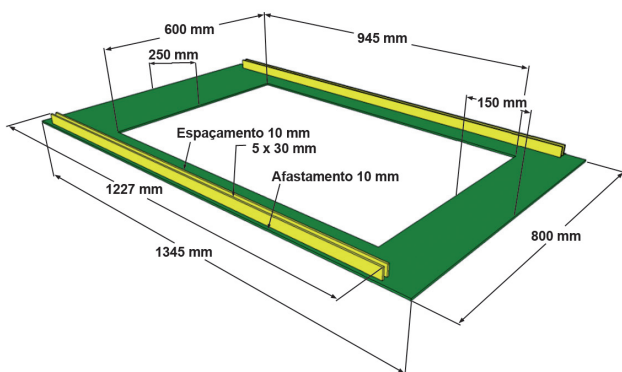


Figura 12. Plataforma de sustentação do trocador de calor e coletor.

- **Caixa coletora de ar com saída para o ventilador:** deve ser fixada em uma moldura de 700 x 1.245 mm, construída com barras de aço inox de 5 x 50 mm. A caixa coletora tem a área transversal semelhante à carcaça do trocador de calor e pode ser fixada a este por meio de parafusos ou solda. Na face frontal da caixa coletora deve haver uma abertura circular, na qual será fixado o duto que liga a fornalha ao ventilador (Figura 13).

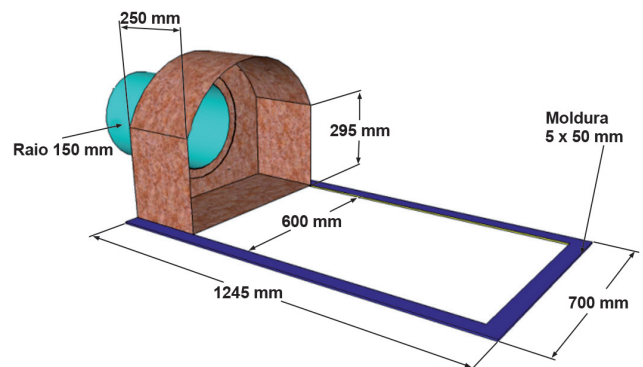


Figura 13. Caixa coletora com abertura para saída do ar montada sobre a moldura do trocador.

- **Trocador de calor:** é composto por carcaça construída em aço inox (3 mm), espelhos em aço inox (5 mm) e tubos trocadores com 50 mm de diâmetro, 5 mm de espessura e 1.000 mm de comprimento (Figura 14). O trocador de calor, tipo tubo carcaça, deve ser fixado ao coletor e à moldura (Figuras 15 e 16).

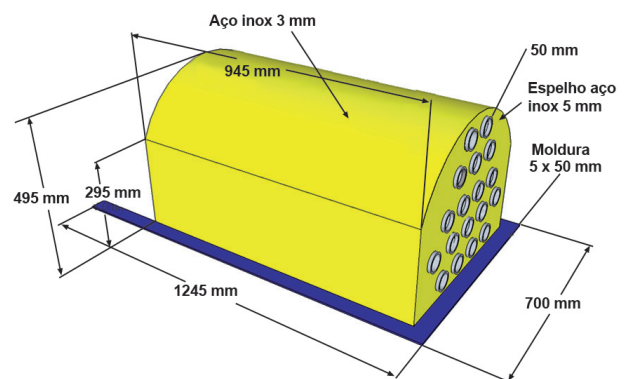


Figura 14. Trocador de calor com os tubos e moldura de apoio.

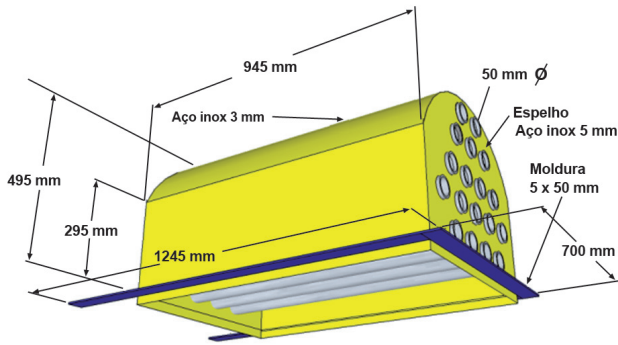


Figura 15. Trocador de calor com os tubos e moldura de apoio - vista por baixo.

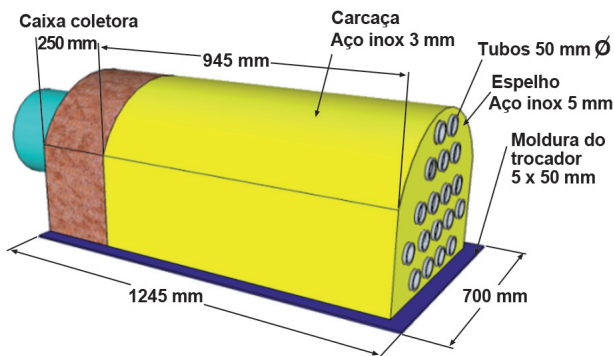


Figura 16. Trocador de calor e caixa coletora fixada na moldura de apoio.

- Grelha:** pode ser construída em aço inox ou em ferro fundido. Estabeleceu-se que a área mínima calculada seria de  $0,18 \text{ m}^2$  e que a largura, para abertura interna da plataforma, deve ser de no mínimo 600 mm; o comprimento mínimo da grelha deve ser determinado em função do comprimento dos pedaços de lenha (600 mm é muito comum). Portanto, a grelha para a fornalha em questão terá a configuração mostrada na Figura 17. A guia da grelha deve ser fixada à base da fornalha, de modo que permita a retirada e reposição da grelha após as operações de limpeza e manutenção.

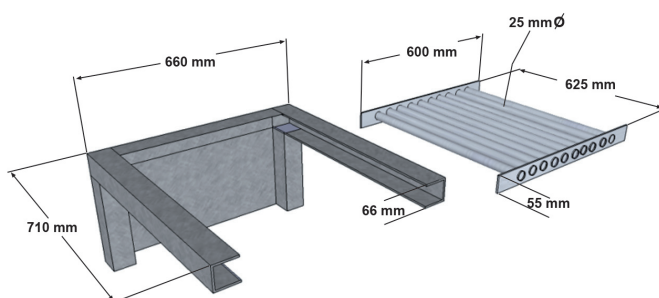


Figura 17. Trocador de calor e caixa coletora fixada na moldura de apoio.

- Estrutura básica (chassi da fornalha):** com a plataforma, as guias da cobertura do trocador e a guia da grelha, convenientemente acopladas ou soldadas na base, a estrutura geral de sustentação da fornalha fica com o aspecto apresentado na Figura 18.
- Revestimento da base:** o revestimento interno da base da fornalha pode ser feito com alvenaria de tijolos comuns. Pensando em longo prazo, entretanto, seria muito importante adicionar uma camada interna com tijolos refratários espelhados. Com esse procedimento, a base da fornalha teria maior durabilidade e eficiência. A Figura 19 mostra o aspecto final da base da fornalha.

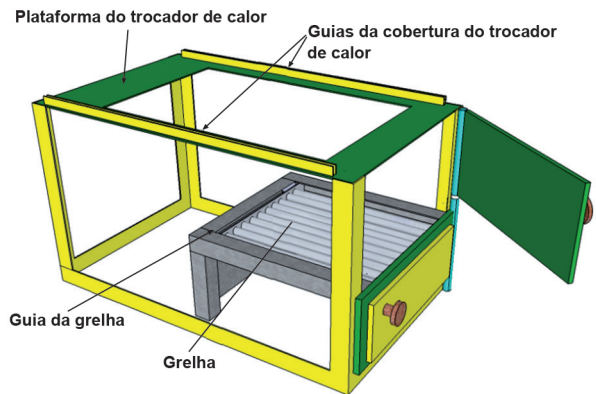


Figura 18. Estrutura básica ou chassi da fornalha mostra a grelha e as portas da câmara de combustão e do cinzeiro.

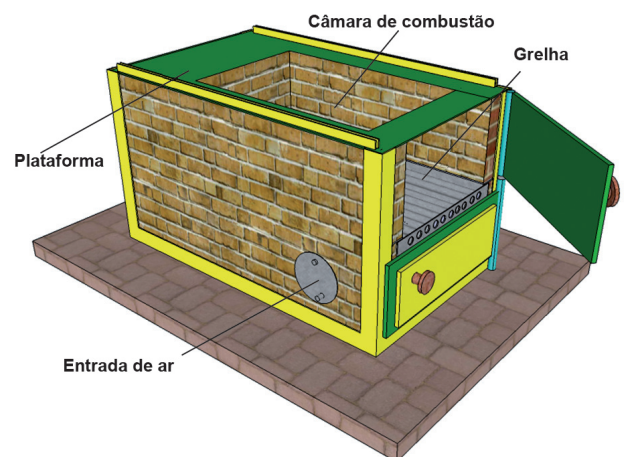


Figura 19. Base da fornalha pronta para receber o trocador de calor.

- Montagem do trocador de calor:** com a base da fornalha no local de uso e devidamente revestida, basta aparafusar o conjunto trocador de calor, moldura e caixa coletora sobre a



plataforma de sustentação e entre as guias da cobertura do trocador de calor (Figura 20a, 20b).

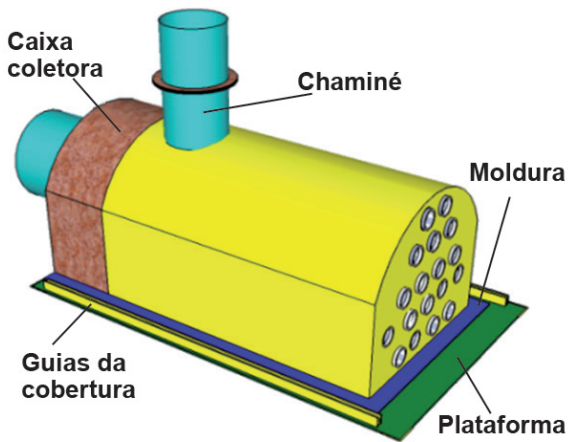


Figura 20a. Montagem do trocador de calor e caixa coletora sobre a plataforma de sustentação.

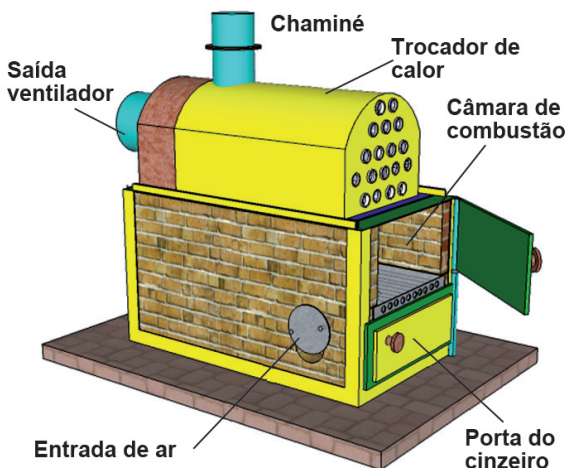


Figura 20b. Plataforma de sustentação com seus elementos sobre a base da fornalha.

- Chaminé e cobertura do trocador de calor:** finalmente, após a montagem de todos os componentes da fornalha e da chaminé, construída em aço inox de 2 mm e 200 mm de diâmetro, deve-se, além da proteção tipo chapéu chinês, ultrapassar pelo menos 1.500 mm acima do telhado que cobrirá a fornalha. Para maior desempenho da fornalha, é necessário acoplar a cobertura protetora, que, além de evitar contato de pessoas com a superfície quente da carcaça do trocador de calor, tem a finalidade de direcionar o ar, que será pré-aquecido pela superfície externa da carcaça, entrará pelos tubos do trocador e, por fim, passará pelo ventilador como ar de secagem (Figura 21a, 21b).

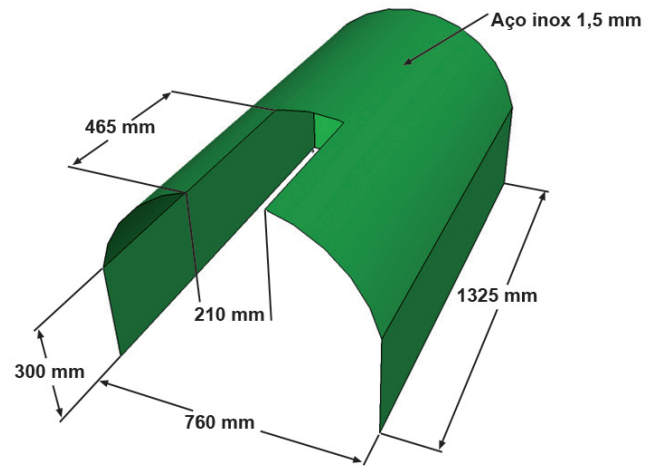


Figura 21a. Cobertura do trocador de calor.

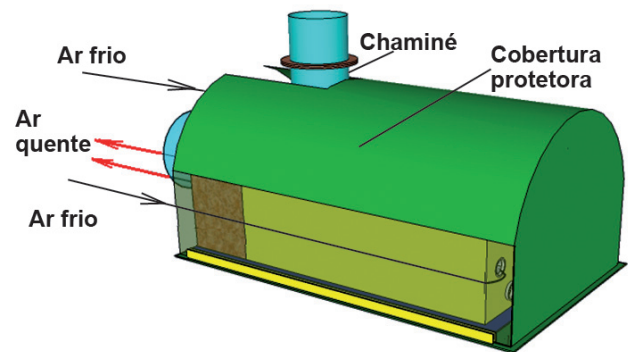


Figura 21b. Fluxo de ar frio e quente pela cobertura e trocador de calor (tubos), respectivamente.

- Finalização do conjunto:** depois de todos os elementos devidamente montados, a fornalha terá o aspecto final mostrado nas Figuras 22 e 23.

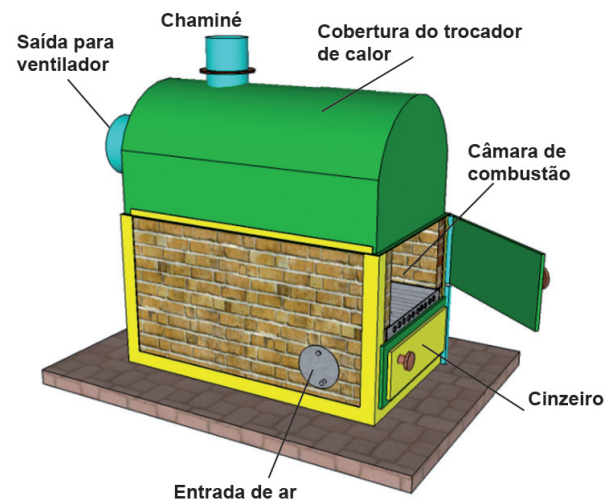


Figura 22. Fornalha completa mostra entrada de ar primário, saída de ar para ventilador, chaminé, cobertura do trocador de calor e aberturas para câmara de combustão e cinzeiro (vista anterior).

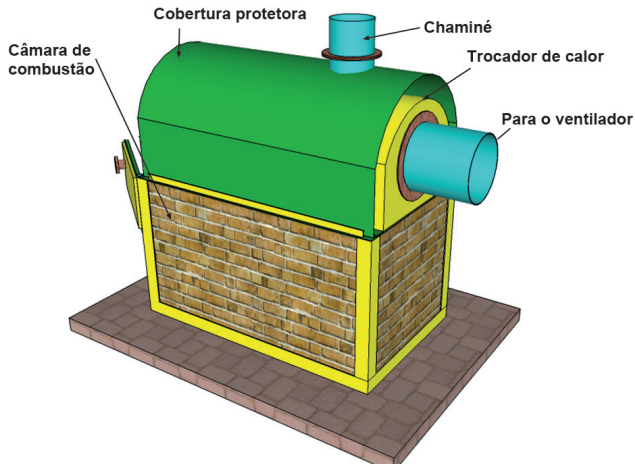


Figura 23. Fornalha completa mostra saída de ar para ventilador, chaminé, cobertura do trocador de calor e abertura para câmara de combustão (vista posterior).

## Recomendações para o Uso Correto da Fornalha

1. Utilize eficientemente a lenha. A utilização de lenha úmida em fornalhas constitui um obstáculo à produção de calor. A evaporação da água durante a combustão da lenha subtrai calor durante a queima, resultando em menor quantidade de energia para o aquecimento do ar de secagem. Quanto mais seca e mais densa for a lenha, maior o seu aproveitamento. Por essa razão, sugerimos ao extensionista orientar o cafeicultor a providenciar lenha com bastante antecedência e, depois de convenientemente seca ao sol, que a guarde em local protegido de chuvas. O teor de umidade da lenha para queima em fornalhas deve ser inferior a 30%.
2. Que a fornalha seja alimentada constantemente a intervalos preestabelecidos e com lenha de comprimento e diâmetro uniformes. Apesar de trabalhoso, deve-se evitar que o fogo abaixe muito para alimentar a fornalha, de uma só vez, com muita lenha. Como as fornalhas com aquecimento direto não possuem controles, uma alimentação cuidadosa auxilia na manutenção de temperaturas próximas das recomendadas para uma secagem eficiente.
3. A lenha deve ser separada em lotes homogêneos em comprimento e diâmetro. O uso de lenha de mesma classe facilitará a combustão e o melhor desempenho da fornalha.
4. Evite arremessar a lenha para dentro da câmara de combustão, uma vez que esse procedimento pode provocar rachaduras e contribuir para a diminuição da vida útil da fornalha.
5. Durante a alimentação de fornalhas com aquecimento indireto, a tiragem promove o ingresso de grande excesso de ar, que faz baixar a temperatura da chama, diminuindo a disponibilidade de energia e provocando grande perda de calor sensível pela chaminé. Portanto, evite abrir desnecessariamente a porta de alimentação da fornalha.
6. Para obter uma combustão eficiente e circulação adequada dos gases, mantenha uma programação diária para limpeza de todos os componentes da fornalha e do secador.

Para finalizar, e com o objetivo de facilitar a opção por diferentes tipos de fornalhas e fontes de energia para a secagem de café, é apresentada nas Tabelas 1, 2 e 3 (LOPES et al., 2001) uma aproximação do consumo de diferentes tipos de combustíveis para várias vazões e temperaturas do ar de secagem. Assim, de posse das características comerciais de cada opção, da disponibilidade de determinado tipo de combustível e do tempo de secagem, pode-se estimar a influência do equipamento e consumo de combustível no processo de secagem do café.

O consumo de combustível para o aquecimento do ar de secagem pode ser estimado pela seguinte equação:

$$M_c = 60 \cdot \frac{\rho \cdot Q \cdot c_p \cdot (T_s - T_a)}{\eta \cdot PCI}$$

em que:

$M_c$  – consumo de combustível,  $\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$ ;

$\rho$  – massa específica do ar de secagem,  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ;

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

$c_p$  – calor específico do ar de secagem,  $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{°C}^{-1}$ ;

$T_s$  – temperatura do ar de secagem,  $\text{°C}$ ;

$T_a$  – temperatura do ar ambiente,  $\text{°C}$ ;

$\eta$  – rendimento da fornalha, decimal; e

$PCI$  – poder calorífico inferior do combustível,  $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ .

**Tabela 1.** Consumo horário ( $\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$ ) de diferentes combustíveis para a temperatura do ar de secagem de  $50^{\circ}\text{C}$ .

Vazão	Combustível					
	GLP	Lenha		Carvão	Palha de café	
$\text{m}^3/\text{min}$	Aquecer direto $\eta = 0,97$	Aquecer indireto $\eta = 0,3$	Aquecer direto $\eta = 0,85$	Aquecer direto $\eta = 0,88$	Aquecer indireto $\eta = 0,4$	Aquecer direto $\eta = 0,85$
60	2,72	31,07	10,96	4,73	19,51	9,18
70	3,17	36,25	12,79	5,51	22,76	10,71
80	3,69	41,43	14,62	6,30	26,02	12,24
90	4,08	46,61	16,45	7,09	29,27	13,77
100	4,53	51,79	18,28	7,88	32,52	15,30
110	4,99	56,97	20,11	8,67	35,77	16,83
120	5,44	62,15	21,93	9,46	39,03	18,36
130	5,89	67,33	23,76	10,25	42,28	19,89
140	6,35	72,51	25,59	11,03	45,53	21,42
150	6,80	77,69	27,42	11,82	48,79	22,96
160	7,25	82,87	29,25	12,61	52,04	24,49
170	7,71	88,05	31,07	13,40	55,29	26,02
180	8,16	93,23	32,90	14,19	58,54	27,55
190	8,61	98,41	34,73	14,98	61,80	29,08
200	9,07	103,59	36,56	15,77	65,05	30,61
210	9,52	108,77	38,39	16,55	68,30	32,14
220	9,98	113,95	40,22	17,34	71,55	33,67
230	10,43	119,13	42,04	18,13	74,81	35,20

Os consumos apresentados variam de acordo com o equipamento, o seu estado de conservação, o teor de umidade do combustível e as condições do ambiente.

**Tabela 2.** Consumo horário ( $\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$ ) de diferentes combustíveis para a temperatura do ar de secagem de  $60^\circ\text{C}$ .

Vazão	Combustível					
	GLP	Lenha		Carvão	Palha de café	
$\text{m}^3/\text{min}$	Aquecer direto $\eta = 0,97$	Aquecer indireto $\eta = 0,3$	Aquecer direto $\eta = 0,85$	Aquecer direto $\eta = 0,88$	Aquecer indireto $\eta = 0,4$	Aquecer direto $\eta = 0,85$
60	3,42	39,09	13,79	5,95	24,55	11,54
70	3,99	45,61	16,09	6,94	28,64	13,46
80	4,56	52,13	18,39	7,93	32,73	15,38
90	5,13	58,64	20,69	8,92	36,82	17,31
100	5,70	65,16	22,99	9,92	40,92	19,23
110	6,27	71,68	25,29	10,91	45,01	21,16
120	6,84	78,19	27,59	11,90	49,10	23,08
130	7,41	84,71	29,89	12,89	53,19	25,00
140	7,99	91,23	32,19	13,88	57,28	26,93
150	8,56	97,74	34,49	14,88	61,38	28,85
160	9,13	104,26	36,79	15,87	65,47	30,77
170	9,70	110,78	39,09	16,86	69,56	32,70
180	10,27	117,30	41,39	17,85	73,65	34,62
190	10,84	123,81	43,69	18,84	77,74	36,55
200	11,41	130,33	45,99	19,84	81,84	38,47
210	11,98	136,84	48,29	20,83	85,93	40,39
220	12,55	143,36	50,59	21,82	90,02	42,32
230	13,12	149,88	52,89	22,81	94,11	44,24
240	13,69	156,39	55,19	23,80	98,21	46,16
250	14,26	162,91	57,49	24,80	102,30	48,09
260	14,83	169,43	59,79	25,79	106,39	50,01
270	15,41	175,94	62,09	26,70	110,48	51,93

**Tabela 3.** Consumo horário ( $\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$ ) de diferentes combustíveis para a temperatura do ar de secagem de  $70^{\circ}\text{C}$ 

Vazão	Combustível					
	GLP	Lenha		Carvão	Palha de café	
$\text{m}^3/\text{min}$	Aquecer direto $\eta = 0,97$	Aquecer indireto $\eta = 0,3$	Aquecer direto $\eta = 0,85$	Aquecer direto $\eta = 0,88$	Aquecer indireto $\eta = 0,4$	Aquecer direto $\eta = 0,85$
60	4,09	46,71	16,48	7,11	29,33	13,80
70	4,77	54,50	19,23	8,29	34,22	16,10
80	5,45	62,23	21,98	9,48	39,11	18,40
90	6,13	70,07	24,73	10,66	44,00	20,70
100	6,81	77,86	27,48	11,85	48,89	23,00
110	7,50	85,65	30,23	13,03	53,78	25,31
120	8,18	93,43	32,97	14,22	58,67	27,61
130	8,86	101,22	35,72	15,41	63,56	29,91
140	9,54	109,01	38,47	16,59	68,45	32,21
150	10,22	116,79	41,22	17,78	73,34	34,51
160	10,91	124,58	43,97	18,96	78,23	36,81
170	11,59	132,37	46,71	20,15	83,12	39,11
180	12,27	140,15	49,46	21,33	88,01	41,41
190	12,95	147,94	52,21	22,52	92,90	43,71
200	13,63	155,73	54,96	23,70	97,79	46,01
210	14,32	163,51	57,71	24,89	102,68	48,32
220	15,00	171,30	60,46	26,07	107,57	50,62
230	15,68	179,09	63,20	27,26	112,46	52,92
240	16,36	186,87	65,95	28,44	117,34	55,22
250	17,04	194,66	68,70	29,63	122,23	57,52
260	17,73	202,45	71,45	30,82	127,12	59,82
270	18,41	210,23	74,20	32,00	132,01	62,12

## Conclusão

Como a secagem de produtos agrícolas, especialmente o café, é a fase da produção que demanda maior quantidade de energia e é a responsável pela manutenção da qualidade do produto após a colheita, aconselha-se, especialmente o extensionista, a adotar normas de orientação ao produtor e ao operador do

sistema de secagem com a finalidade de reduzir custos com energia e evitar gastos com manutenção advindos de operações inadequadas realizadas em um equipamento tão importante e de custo elevado.

## Referências

LOPES, R. P. **Desenvolvimento de um sistema gerador de calor com opção para aquecimento direto e indireto de ar.** 2002. 220 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2002.

LOPES, R. P.; SOBRINHO, J. C.; SILVA, J. S.; SILVA, J. N. **Fontes de energia para secagem de café.** Viçosa-MG: Engenharia na Agricultura, 2001. 26 p. (Engenharia na Agricultura. Boletim técnico, 3).

MELO, F. A. O. **Projeto, construção e avaliação de uma fornalha para aquecimento de ar utilizando combustíveis particulados finos.** 2003. 91 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2003.

SILVA, J. de S. e; LOPES, R. P.; VITOR, D. G. **Fornalha a carvão para secagem de café e grãos.** Brasília, DF: Embrapa Café, 2013. 10 p. (Embrapa Café. Circular técnica, 2).

### Comunicado Técnico, 6

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

**Embrapa Café**

**Endereço:** Parque Estação Biológica - PqEB,  
Av. W3 Norte (final), Ed. Sede  
70770-901, Brasília - DF

**Fone:** (61) 3448-4010

**Fax:** (61) 3448-1797

**E-mail:** sac.cafe@sapc.embrapa.br

**1ª Edição**

1ª Impressão (2014): 1.000 exemplares



### Comitê de Publicações

**Presidente:** Lucas Tadeu Ferreira

**Vice-Presidente:** Jamilsen de Freitas Santos

**Secretária-Executiva:** Adriana Maria Silva Macedo

**Membros:** Anísio José Diniz, Antonio Fernando Guerra, Carlos Henrique Siqueira de Carvalho, Cristina Arzabe, Helena Maria Ramos Alves, Maurício Sérgio Zacarias, Milene Alves de Figueiredo Carvalho.

### Expediente

**Supervisão Editorial:** Adriana Maria Silva Macedo

**Revisão de texto:** Flávia Raquel Bessa

**Normalização bibliográfica:** Alessandra Rodrigues da Silva

**Fotos e ilustrações:** dos autores

**Tratamento das imagens:** Thiago Farah Cavaton

**Editoração eletrônica:** Thiago Farah Cavaton

**Impressão e acabamento:** Embrapa Informação Tecnológica