

## Construção de Ventiladores Centrífugos para Uso Agrícola

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

### Introdução

Na secagem, na aeração de grãos e nos sistemas que usam ventilação forçada, como as máquinas de separação, de limpeza, de transporte pneumático e mesmo em sistema de renovação ou aquecimento de ar para criação de animais, há necessidade de um componente para criar um gradiente energético que promova o movimento do ar por meio dos elementos do sistema e do produto. Na secagem de grãos, o ar, além de conduzir o calor, transporta a água evaporada do produto para fora do secador por meio do sistema de exaustão. Já na aeração, a função principal do ar é resfriar a massa de grãos, embora, às vezes, possa carrear pequenas quantidades de água evaporada, dependendo do manejo da aeração.

Os ventiladores são máquinas que, por meio da rotação de um rotor provido de pás adequadamente distribuídas e acionado por um motor, permitem transformar a energia mecânica do rotor em formas

de energia potencial de pressão e energia cinética. Graças à energia adquirida, o ar torna-se capaz de vencer as resistências oferecidas pelo sistema de distribuição e pela massa de grãos, podendo assim realizar a secagem, o resfriamento, a separação, a limpeza e o transporte do produto.

Neste trabalho serão apresentadas as técnicas para o dimensionamento e construção de ventiladores centrífugos de pás retas e um exemplo de um ventilador simples, que pode ser usado para complementar o terreiro híbrido e para alguns secadores de café ou em sistemas de aeração.

### O ventilador centrífugo

Um ventilador centrífugo é caracterizado pela forma com que o ar entra na caixa ou voluta do sistema e também pela capacidade de vencer grandes resistências ao fluxo de ar. Diferentemente dos ventiladores axiais ou ventiladores de hélice, nos

<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 Agrônomo, bolsista do Consórcio Pesquisa Café (EPAMIG), Viçosa, MG, douglas.vitor@ufv.br

<sup>3</sup>Engenheiro Agrícola, DS em Engenharia Agrícola, Professor Ajuento da UFV, Viçosa, MG, roberto.precci@ufv.br

quais o ar entra e sai paralelamente ao eixo do motor ou da carcaça tubular e só mantém o fluxo em sistemas de baixa resistência, nos ventiladores centrífugos o ar entra no sistema paralelamente ao eixo do rotor e é descarregado perpendicularmente à direção de entrada do ar. Na Figura 1, é apresentado o rotor de um ventilador centrífugo como o da Figura 2. O rotor pode ser fabricado com as pás curvadas para trás, para frente ou radiais com pás retas (Figuras 1 e 3).

Nesta publicação serão detalhados apenas os ventiladores centrífugos com rotores de pás radiais retas (Figuras 1 e 3a), por ser de fácil construção. Para maiores detalhes sobre ventiladores, recomenda-se a leitura do capítulo 10 do livro "Secagem e armazenagem de produtos agrícolas" (SILVA, et al., 2008) ou ainda o livro "Compressores" (COSTA, 1978).

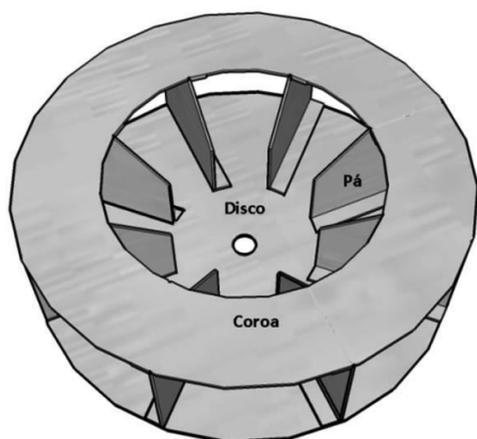


Figura 1. Rotor centrífugo de pás retas.

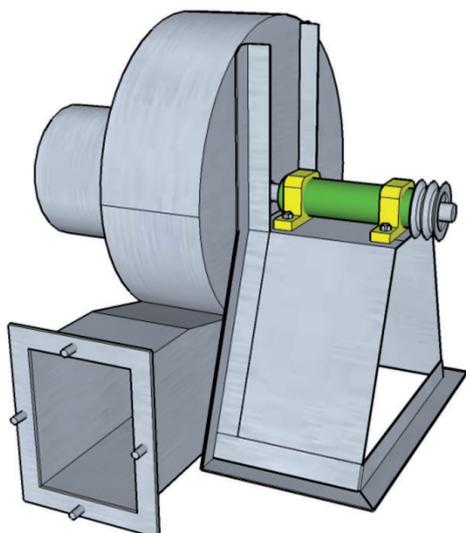


Figura 2. Aspecto geral de um ventilador centrífugo.

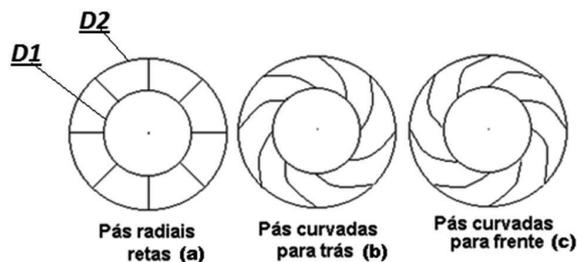


Figura 3. Modelos mais comuns de pás de rotores centrífugos. Fonte: Silva et al. (2008).

## Uso dos ventiladores na secagem

Existem duas maneiras para reduzir o tempo de secagem dos produtos agrícolas:

- A. aumentando-se a vazão de ar que passa através do produto, aumenta-se a quantidade de água evaporada, ou seja, a velocidade de secagem até certo ponto é proporcional ao fluxo de ar; e
- B. aumentando-se a temperatura do ar de secagem, a capacidade do ar em absorver água é aumentada, isto é, aumenta-se o seu potencial de secagem.

Em sistemas de secagem que usam baixas temperaturas, como nos silos secadores, a secagem deve ocorrer em um tempo tal que não predisponha as camadas superiores da massa de grãos à deterioração.

A utilização de uma fonte auxiliar de calor para aquecimento do ar de secagem pode onerar esses sistemas, bem como provocar supersecagem do produto. Assim, o cálculo do fluxo de ar e a utilização de ventilador adequado são o modo mais prático e eficiente para se controlar o tempo de secagem.

## Grandezas características

Existem certas grandezas importantes para o funcionamento e para o desempenho dos ventiladores. Com uma combinação adequada dessas grandezas, é possível escolher corretamente o melhor tipo de ventilador para determinadas condições de operação. Por caracterizarem as condições de funcionamento do ventilador, essas grandezas são conhecidas como Grandezas Características. São elas:

- número de rotações por minuto ou a velocidade angular (radianos por segundo);
- diâmetro de saída do rotor;
- vazão;
- altura de elevação (útil, total de elevação e motriz);
- potências (útil, total de elevação e motriz); e
- rendimentos (hidráulico, mecânico e total).

### Altura de elevação

A altura de elevação representa o desnível energético entre dois pontos e é expressa em altura de coluna fluida que normalmente é dado em mmca (milímetros de coluna d'água). A altura total de elevação,  $H_t$ , é a energia total cedida pelo rotor do ventilador ao ar. Uma parte desta energia,  $h$ , perde-se no próprio ventilador por atrito e turbilhonamento (perdas hidráulicas). Com isso, a altura útil,  $H$ , é definida por:  $H = H_t - h$ , ou seja, a energia adquirida pelo fluido durante sua passagem através do ventilador.

A altura motriz de elevação,  $H_m$ , é a energia mecânica fornecida pelo eixo do motor. Como toda esta energia não é aproveitada pelo rotor para transferir ao ar a energia  $H_t$ , uma parte dela se perde sob a forma de perdas mecânicas,  $H_p$ , nos mancais e na transmissão por correia. Assim, pode-se escrever:

$$H_m = H_t + H_p$$

### Potências

A potência é a energia fornecida para efetuar trabalho na unidade de tempo. Portanto, a cada altura de elevação existe uma potência com a mesma designação:

- Potência útil - é a potência adquirida pelo ar durante sua passagem pelo ventilador;
- Potência total de Elevação - é a potência fornecida ao ar pelas pás do rotor; e
- Potência motriz, mecânica ou efetiva ou ainda "Brake Horse-Power" (BHP) - é a

potência fornecida pelo motor ao eixo do ventilador.

A potência de um fluido é dada pela equação 1:

$$N = p_e \cdot Q \cdot H \quad (1)$$

em que:

- $N$  - potência (útil, total ou motriz),  $W$ ;
- $p_e$  - peso específico do fluido,  $N/m^3$ ;
- $Q$  - vazão do fluido,  $m^3/s$ ; e
- $H$  - altura de elevação (útil, total ou motriz), metro de coluna de fluido.

Tem-se ainda que:

$$H = (\text{pressão } (N/m^2)) / \text{peso específico } (N/m^3) \quad (2)$$

### Rendimentos

Rendimento é a relação entre potência aproveitada e fornecida. No caso dos ventiladores, têm-se:

- Rendimento hidráulico ( $R_h$ )
- Rendimento mecânico ( $R_m$ )
- Rendimento total ( $R_t$ ) = mecânico x hidráulico
- Rendimento volumétrico ( $R_v$ )

Todas as relações matemáticas para determinação de rendimentos podem ser encontrados em Silva et al., (2008).

### Especificação dos ventiladores

Os ventiladores são especificados segundo a vazão de ar fornecida ( $Q$ ) e a pressão total aplicada ao ar ( $H$ ). A vazão é determinada em função do tempo de operação. A pressão total aplicada ao ar indica a energia total recebida pelo ar e graças a ela é que o ar pode escoar ao longo de tubulações ou dutos e vencer as resistências oferecidas pelas chapas perfuradas e pela camada do produto (veja capítulo 11 do livro: Secagem e armazenagem de produtos agrícolas). A pressão total pode, então, ser dividida em duas parcelas, ou seja, pressão estática ( $H_e$ ) e pressão dinâmica ( $H_d$ ). (SILVA et al., 2008).

A pressão fornecida ao ar deve ser maior que a queda de pressão ocorrida no sistema. No caso de sistemas de secagem ou aeração de grãos, as quedas de pressão ocorrem nos dutos de distribuição do ar, na chapa perfurada do piso e na camada do produto que está sendo secado ou resfriado.

### Queda de Pressão no Produto

A resistência ao escoamento do ar, quando este está atravessando uma camada de grãos ou similares, depende de características da superfície do produto como: rugosidade, forma e tamanho das impurezas presentes na massa de grãos, configuração e tamanho dos espaços intersticiais na massa, tamanho e quantidade de grãos quebrados e altura da camada.

Os dados da queda de pressão ocasionada pelo produto são empíricos e normalmente apresentados na forma de gráficos e equações (veja capítulo 11 do livro "Secagem e armazenagem de produtos agrícolas"). Para fluxos de ar de 0,6 a 12 m<sup>3</sup>/min.m<sup>2</sup>, pode-se utilizar a equação:

$$\Delta P_g = (a \cdot Q^2 \cdot h_g) / \ln(1 + b \cdot Q) \quad (3)$$

em que:

- $\Delta P_g$  = queda de pressão devido à resistência do produto, mmca;
- $Q$  = fluxo de ar, m<sup>3</sup>/min.m<sup>2</sup>;
- $h_g$  = altura da massa, m; e
- $a, b$  - constantes que dependem do produto (Tabela 1).

Valores das constantes  $a$  e  $b$  para alguns tipos de grãos são apresentados na Tabela 1.

Em um sistema de secagem de grãos bem projetado, mais de 90% da resistência ao fluxo de ar ocorre na camada de grãos e menos de 10% nos canais de distribuição de ar e na chapa perfurada.

### Queda de Pressão na Chapa

Nos silos, a massa de grãos é sustentada por chapas perfuradas. O ar, ao entrar em contato com a chapa e passar pelos furos, apresenta uma queda de pressão.

Quando a perfuração da chapa for menor do que 10% da área total, a queda de pressão deve ser levada em conta e deve ser calculada. Valores entre 10 e 25%, ela é desprezível. Taxa de perfuração acima de 25% compromete a resistência da chapa.

Para obter melhor distribuição e impedir a vedação dos furos pelos grãos, é preferível número maior de perfurações de pequeno diâmetro a um pequeno número de perfurações de maior diâmetro, para a mesma percentagem de área perfurada.

### Queda de Pressão em Dutos

A queda de pressão que ocorre quando se movimenta o ar em um duto é devida ao atrito nas paredes (fricção), restrição ao fluxo, mudanças de direção, cotovelos e alargamentos e/ou contrações da área da seção transversal do duto. O cálculo dessas perdas foge ao objetivo deste boletim e os

**Tabela 1.** Constantes  $a$  e  $b$  para diversos produtos.

Produto	$a$	$b$
Arroz em casca	0,722	0,197
Aveia	0,718	0,243
<b>Café Pergaminho</b>	<b>ND: Valores da soja será razoável</b>	
Café Coco	0,017	3,900
Milho	0,583	0,512
Soja	0,333	0,302
Trigo	0,825	0,164

valores reais podem ser encontrados em tabelas apresentadas em compêndios sobre mecânica dos fluidos.

### Curvas características dos ventiladores

Apesar de equações disponíveis e de vários fundamentos físicos, não é fácil estudar a interdependência entre as grandezas características dos ventiladores baseando-se em considerações puramente teóricas. Em vista disso, recorre-se a ensaios de laboratórios que permitem expressar a variação de uma grandeza em função da outra, em forma de gráficos ou tabelas, possibilitando fácil e rápida escolha do ventilador e uma análise de seu comportamento em função das variações nas grandezas representadas. Portanto, se o interesse for construir ventilares centrífugos, de pás radiais retas, para comercialização, monte um sistema de provas para caracterizar o seu produto ou recorra a um laboratório específico para caracterizar os modelos fabricados. As curvas que representam a dependência entre duas grandezas, uma vez fixadas as demais, são denominadas CURVAS CARACTERÍSTICAS, e as mais importantes são:

- para um valor de  $n$  (rpm) constante, variação das grandezas  $H$  (pressão total),  $Nm$  (potência motriz em cv) e  $Rt$  (Rendimento total) em função da vazão  $Q$ ; e
- variação das grandezas  $Ht$ ,  $Q$ ,  $Nm$  e  $Rt$  em função do número de rotações  $n$  (rpm).

Testes para ventiladores podem ser executados como é padronizado pela Air Moving and Conditioning Association (AMCA) (Figura 4).

O duto conectado ao ventilador tem comprimento dez vezes maior que seu diâmetro. A válvula cônica serve para regular a resistência ao escoamento de ar, permitindo a variação da vazão. A vazão e a pressão são medidas com o auxílio do tubo de Pitot e manômetro Brooker Bakker-Arkema e et al. (1992).

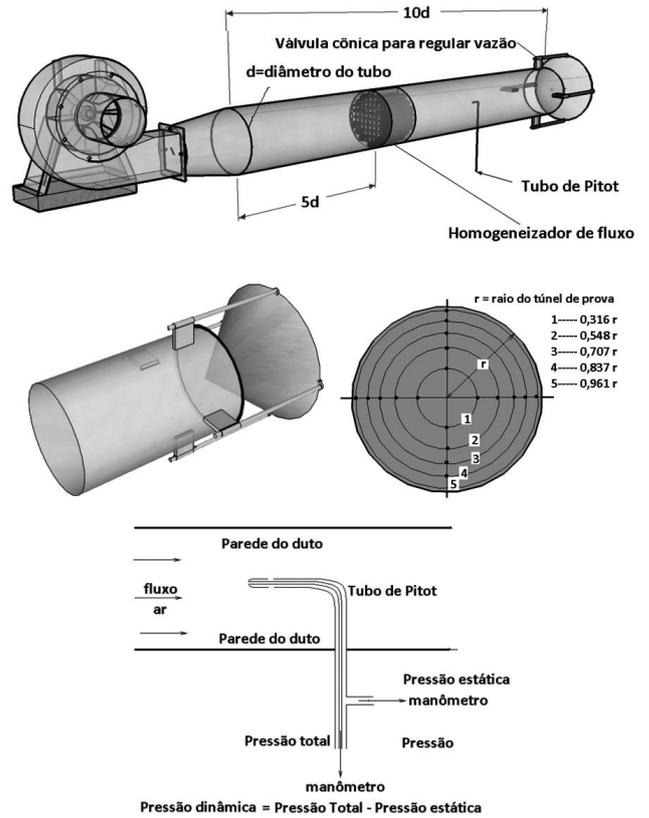


Figura 4. Esquema básico para obtenção de curvas características de ventiladores.

### Curva Característica do Sistema

Se for fabricar um secador ou um terreiro híbrido, por exemplo, devem-se determinar todas as quedas de pressão nos diversos componentes do sistema, em função da vazão de ar que deverá ser fornecida. Com isso, é possível plotar os dados em um gráfico,  $H$  versus  $Q$ , que é denominado Curva Característica do Sistema.

Como mencionado anteriormente, para vencer as forças de resistência ao fluxo de ar, o ventilador deverá fornecer uma quantidade de energia que se perderá. Deve-se, portanto, sobrepor a curva característica principal do ventilador,  $H = f(Q)$ , à curva característica do sistema. O ponto de encontro das duas curvas fornecerá as raízes comuns às equações das duas funções, caracterizando, portanto, os valores de  $Q$  e  $H_e$  com os quais o ventilador associado àquele determinado sistema irá operar (Figura 5).

Quando houver necessidade de aumentar o fluxo de ar em determinadas situações (como secagem em silos, por exemplo), pode-se optar pelo uso de dois ventiladores em paralelo; neste caso, deve-se lembrar que os ventiladores devem ser semelhantes.

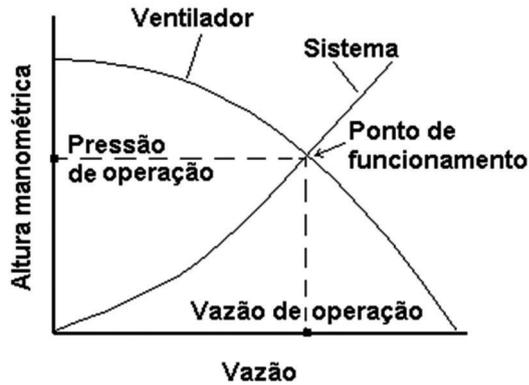


Figura 5. Determinação do ponto de funcionamento do conjunto (ventilador – sistema de distribuição/produto).

Fonte: SILVA et al. (2008).

## Ventilador centrífugo de pás radiais

Deste ponto em diante, além dos passos para calcular um ventilador centrífugo de pás radiais, será mostrado os passos para construir um ventilador que pode ser adaptado aos secadores de camada fixa e terreiro secador modelos UFV. Para maiores detalhes a respeito desses passos e para cálculo de outro tipo de ventilador, recomenda-se Costa (1978).

Valores pré-determinados:

Q - vazão, m<sup>3</sup>/s;

H - pressão total a ser vencida, mmca;

ângulo da pá na saída do rotor = 90°;

Ra - rendimento adiabático = 0,70;

Rh - rendimento hidráulico = 0,70; e

Rm - rendimento mecânico = 0,85.

Ordem dos cálculos:

**Primeiro passo:** velocidade absoluta do ar à saída do rotor (C):

$$C = 4,04 (H)^{1/2}, \text{ m/s}$$

**Segundo passo:** diâmetro interno do rotor (D1): (Figura 3)

$$D1 = 2 (Q/C)^{1/2}, \text{ m}$$

**Terceiro passo:** diâmetro externo do rotor (D2): (Figura 3)

$$D2 = 1,20 D1$$

**Quarto passo:** número de rotações por minuto do rotor (n):

$$n = (60 \cdot U2) / (3,14 \cdot D2)$$

em que:

U2 - velocidade tangencial do rotor = C/1,15, (m/s).

**Quinto passo:** largura das pás do rotor na saída (L2) e na entrada (L1) Veja Figura 16:

$$L2 = 0,2 D2$$

$$L1 = L2$$

**Sexto passo:** velocidade à entrada do rotor:

$$C1 = Q / (3,14 \cdot Rh \cdot D1 \cdot L1), \text{ m/s.}$$

**Sétimo passo:** velocidade tangencial de entrada no rotor (U1):

$$U1 = (3,14 \cdot D1 \cdot N) / 60, \text{ m/s.}$$

**Oitavo passo:** ângulo de entrada das pás. No presente caso igual a = 90°.

**Nono passo:** número de pás - varia de 10 a 20.

**Décimo passo:** traçado da voluta ou difusor.

Um processo prático para o traçado da espiral de Arquimedes é efetuado com quatro arcos de círculos, conforme a Figura 6, e será visto, mais adiante, neste material. O processo consiste em traçar um quadrado auxiliar, cujo lado equivale a 10% do valor do diâmetro externo do rotor (Dr), e centrá-lo no eixo deste. Considerando a Figura 6, o quadrado auxiliar será centrado no ponto 0 (zero) e a distância do vértice (a) ao ponto 1 será de, aproximadamente, 0,85 vez o valor do diâmetro externo do rotor. Assim, com o centro no vértice (a) do quadrado auxiliar e o raio igual a 0,85 vez o diâmetro externo do rotor, traça-se o arco 1-2 (ponto 1, ponto 2). Em seguida, com o centro

no vértice b traça-se o arco (ponto 2, ponto 3). Com centro em (c), traça-se o arco 3-4 (ponto 3, ponto 4), e com o centro no vértice (d) traça-se o arco 4 – 6 (ponto 4, ponto 6).

O estrangulamento da voluta, ponto 5, denominado “beco da voluta”, é igual a 0,06 vezes o diâmetro externo do rotor.

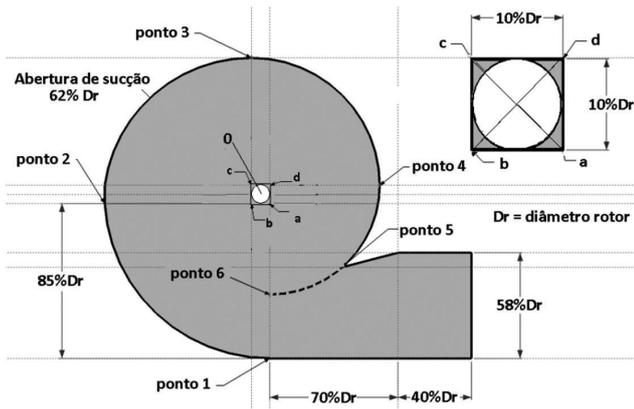


Figura 6. Esquema para o traçado da voluta (espiral de Arquimedes).

## O ventilador e sua construção

Nos secadores tradicionais, em que se usam fluxos de ar aquecido para remoção da água dos grãos, a característica do ventilador é muito importante para o bom funcionamento do sistema de secagem. O ventilador deve ser projetado para vencer a resistência oferecida por uma camada de produto à passagem de um determinado fluxo de ar com temperatura especificada e, acima de tudo, deve ser construído com materiais resistentes ao calor e a substâncias com potencial corrosivo. Para atender a essas exigências, o aço inoxidável é recomendado e mais econômico no médio prazo.

Os secadores de camada fixa e de fluxos concorrentes, o terreiro secador, as fornalhas e os lavadores de café e os kits para secagem em silos, projetados na UFV, foram idealizados para ser construídos potencializando os materiais disponíveis na própria fazenda. Entretanto, é possível que surjam problemas na hora de adquirir equipamentos especiais como fornalhas ou mesmo um ventilador, como o que será mostrado neste boletim. Quase sempre há necessidade de grandes deslocamentos,

onerando ainda mais um componente, que, além de caro, pode não apresentar as características desejadas.

O ventilador descrito a seguir é apropriado para o secador de camada fixa de 5m de diâmetro (Figura 7) e para o terreiro secador (Figura 8), ambos para capacidade de 7000 litros, e para o sistema combinado (Figura 9), composto por um pré-secador (terreiro secador de 2.500 litros) e um secador pneumático de fluxos concorrentes de 3.000 litros de capacidade.

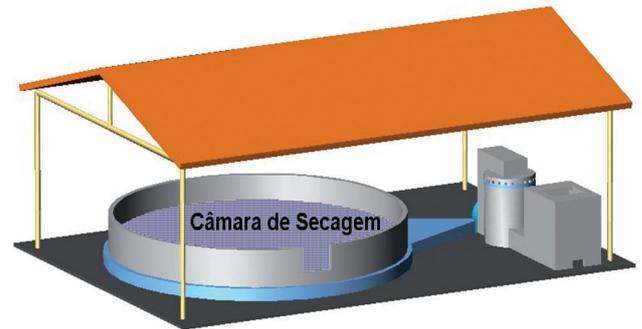


Figura 7. Secador de camada fixa modelo UFV com capacidade de 7.000 L.

Fonte: SILVA et al. (2008)



Figura 8. Terreiro secador com capacidade de 7.000 L.

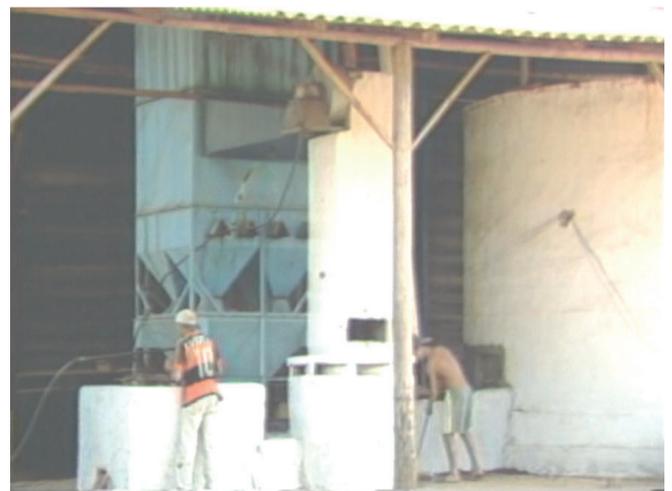


Figura 9. Sistema combinado modelo UFV, secador e silo secador.

## Descrição do ventilador

O ventilador é formado pelos seguintes componentes:

A. eixo motriz: peça que, presa ao suporte do conjunto, tem como função permitir e suportar o giro do rotor em torno de 1.700 rotações por minuto. Apesar de menos recomendado, devido à substituição do motor em caso de pane, o eixo motriz (Figura 10) pode ser substituído pelo acoplamento do rotor diretamente ao eixo do motor.

B. rotor: peça fixada na extremidade do eixo motriz. Essa peça tem como função produzir e direcionar o fluxo de ar. O rotor é composto de disco principal, pás e coroa ou anel (Figura 11).

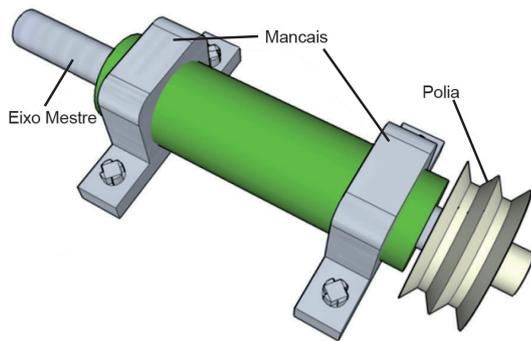


Figura 10. Eixo motriz mostrando mancais e polia.

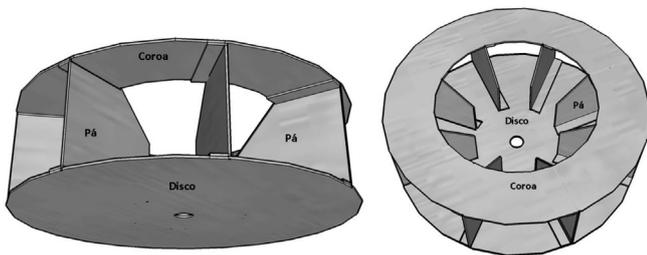


Figura 11. Rotor mostrando o disco principal, as pás e o anel.

C. voluta ou caixa coletora: esse componente tem como finalidade captar o ar que entra e que sai do rotor. É composta por: lateral de sucção, lateral motora, entrada de ar ou distribuidor e janela de inspeção e saída de ar (Figura 12).

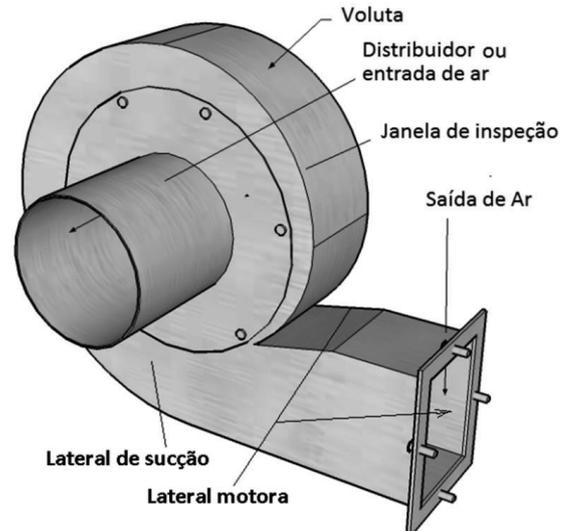


Figura 12. Voluta ou caixa coletora e seus componentes.

## Construção e Detalhes dos Componentes

Além de se ter à disposição uma oficina com materiais e ferramentas apropriadas para a construção do ventilador, as especificações, os detalhes e as notas explicativas fornecidas a seguir devem ser cuidadosamente seguidos para que se obtenha um resultado satisfatório. Se forem construir ventiladores para fornecimento a clientes, é conveniente construir o túnel de provas e equipamentos de medição (Figura 4) para caracterização do ventilador e ou de um sistema fornalha ventilador, por exemplo, como na Figura 5.

### Eixo

Utilizar eixo de serra de 1 1/2", que é de mais fácil obtenção no comércio, ou construir um eixo comum de 1 1/2" montado em mancais com rolamentos de esferas e que apresentam custos praticamente iguais (Figura 10). Caso seja de interesse, o sistema pode ser acoplado diretamente ao eixo do motor (Figura 13). Nesse caso, pode ocorrer o inconveniente de uma substituição lenta e problemática do motor, devido a uma pane elétrica ou mecânica do conjunto motor/rotor.

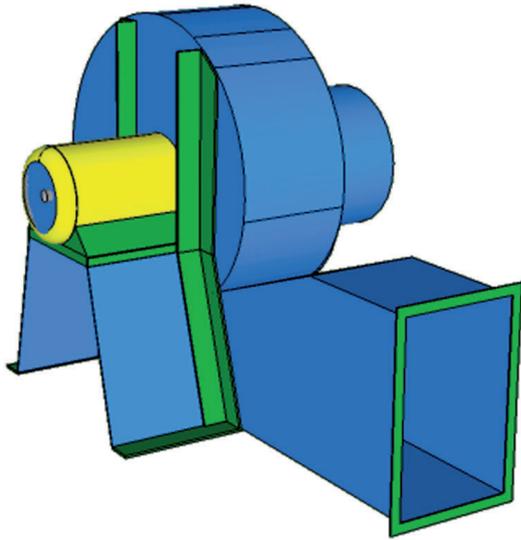


Figura 13. Ventilador com rotor montado no eixo do motor.

### Rotor

Para efeito de construção, o rotor é dividido em três partes:

- A. disco principal: para os propósitos deste boletim, devem ser construídos em chapa inox 3,0 mm e com 50 cm de diâmetro. Para outros ventiladores, calcule o diâmetro e construa as outras partes proporcionalmente a esse (Figura 6). Deve-se retificar o furo central e as bordas em torno mecânico ou aperfeiçoar manualmente o acabamento, evitando empenos no disco, para não comprometer o balanceamento do conjunto (Figuras 14 a 16).
- B. coroa ou anel: é o espaço compreendido entre os raios internos e externos que limitam os canais do rotor (Figuras 14 e 15). Deve ser construído em chapa com espessura de 2mm. Vários canais radiais são formados pela junção do disco principal com as pás e o anel metálico; esses canais dão estabilidade e direcionamento ao fluxo de ar.
- C. pás: são peças metálicas soldadas ao disco principal. No presente caso, elas são dispostas radialmente e eqüidistantes entre si construídas com chapa inox de 2mm. Em número de oito a doze, as pás devem ter as dimensões mostradas na (Figura 16a) ou, em caso de se construir ventiladores de tamanhos diferentes ao aqui proposto, deve seguir as dimensões sugeridas na (Figura 16b).

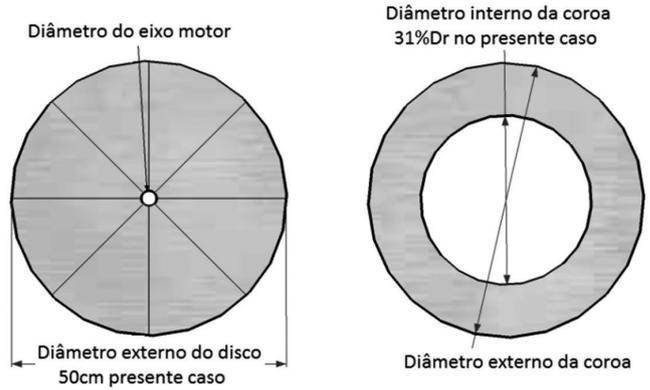


Figura 14. Detalhes do disco principal, destacando-se os locais para assentamento das pás e do anel externo do rotor ou coroa.

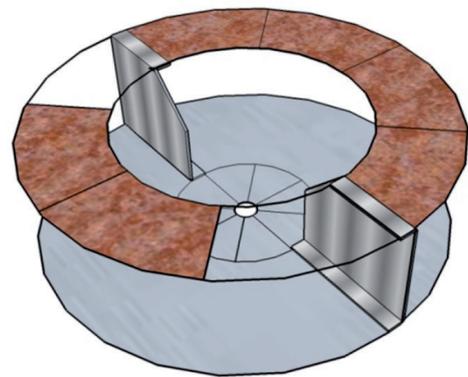
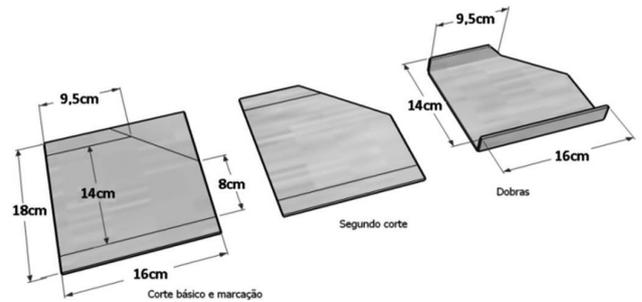
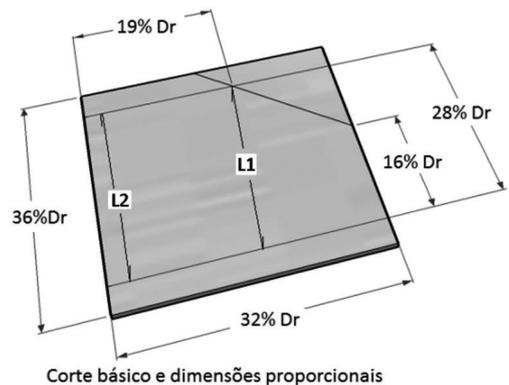


Figura 15. Detalhes do posicionamento das pás entre o disco e o anel do rotor.



(a)



(b)

Figura 16. Dimensões e detalhes de cortes e dobra da pá (a) e dimensões proporcionais ao diâmetro do rotor (b).

## Voluta ou caixa coletora

No exemplo apresentado, para efeito de construção, optou-se pela forma espiralada, como mostra a Figura 6. A seção transversal da voluta, no presente caso, terá a forma retangular e será construída em chapa de aço inox 304 de 1,5 mm, soldada, preferencialmente, com solda TIG. Suas partes são definidas a seguir e mostradas nas Figuras 17 a 21:

- A. lateral de sucção: nela é encaixado o distribuidor de entrada de ar (Figura 18);
- B. lateral motora: é o lado da voluta em que é preso o suporte do eixo (Figuras 19 e 20);
- C. entrada de ar ou distribuidor: tem como finalidade direcionar o ar de maneira uniforme para os canais do rotor. Em geral, esse elemento tem a forma de tronco de cone ou de uma boca de sino para reduzir a perda de carga na entrada, porém, para facilitar sua construção, o distribuidor terá a forma cilíndrica (Figuras 12 e 26) e será construído em chapa inox 2mm; e
- D. janela de manutenção: abertura na parte superior da caixa coletora ou na lateral de sucção que serve para a passagem do rotor durante a montagem e manutenção do sistema. É fechada com chapa inox 2 mm e parafusos de rosca soberba (Figuras 12 e 26).

## Montagem dos Componentes

Apresenta-se, a seguir, um modo prático e econômico para cortar as laterais da caixa coletora, o balanceamento do rotor e o acabamento.

**A. Traçado das laterais** (motora e de sucção): como dito anteriormente, um processo prático para traçar as laterais da caixa coletora de seção transversal retangular é o de Arquimedes, efetuado com quatro arcos de círculo (Figuras 6 e 19).

O ideal é adquirir chapas em dimensões comercialmente fornecidas de 120 x 200 cm. Inicialmente, procure retirar uma peça de 22 cm por 200 cm como na Figura 17 (faixa azul). Em seguida, divida o restante da chapa em duas partes de 98x100 cm. Uma parte será usada para construir a

lateral motora (lado esquerdo da Figura 17) e a outra para a lateral de sucção (lado direito da Figura 17). De cada chapa, deve-se retirar um segmento de 22 x 69 cm (cores verdes na Figura 17). As peças de 22 cm de largura serão usadas para unir as laterais da voluta (Figuras 21 e 22).

Depois de remover a tira de 22 x 200 cm e dividir o restante da chapa ao meio, cada metade, com 98 x 100 cm, ficará como apresentado na Figura 19. Para o desenvolvimento da voluta pelo método Arquimedes, toma-se o lado do quadrado auxiliar de construção a-b-c-d igual a 10% do diâmetro do disco principal, que, no presente caso, é de 5,0 cm. Para o bom aproveitamento da chapa, o ponto (1) deverá ser marcado a 45 cm do ponto 0 (zero), na borda inferior da chapa. O ponto (a) deverá ser marcado sobre a perpendicular, à face inferior, a partir do ponto (1) na Figura 19. O quadrado auxiliar deverá ter os lados paralelos às bordas da chapa de 98x100 cm.

Com o centro no vértice (a) e abertura (a-1), traça-se o arco 1-2; com centro em b e abertura (b-2), traça se o arco 2-3; com centro em c e abertura (c-3), o arco 3-4; e com centro em d e abertura (d-4), o arco 4-6. Devem ser obedecidas as proporções dadas na Figura 19 para interromper o corte das laterais no ponto 5. Portanto, para iniciar o traçado do arco 1-2, o raio a-1 deve ter o valor de 42,5 cm para um ventilador, cujo rotor deve ser de 50 cm como no presente caso. Sempre que possível, é aconselhável fazer um molde para evitar que, em caso de erro, uma chapa de aço inox, principalmente, seja parcialmente desperdiçada. O molde permitirá aproveitar o máximo de cada chapa e poderá ser aproveitado no caso de construção de ventiladores semelhantes.

A Figura 20 mostra os detalhes da lateral motora cortada que servirá de molde para a lateral de sucção, que deverá possuir uma abertura circular de 51 cm de diâmetro para permitir a passagem do rotor e receber o conjunto janela de inspeção com a entrada de ar. Como o nome está indicando, a janela de inspeção permite acesso ao interior do ventilador nos casos de limpeza e manutenção mecânica. O furo da lateral motora deve ser compatível com o diâmetro do eixo e com um pouco de folga.

**B. Balanceamento do rotor:** como o rotor irá girar em torno de 1.700 rpm, é necessário que seu balanceamento seja correto para que não haja vibrações, garantindo, assim, maior durabilidade do eixo e dos rolamentos. Um rotor balanceado dificilmente irá parar na mesma posição depois de girar livremente sobre o eixo. No caso do rotor não balanceado, a parte mais pesada (ponto desbalanceado) irá parar sempre na posição inferior (devido à força da gravidade). Para balancear, contrapesos metálicos são colocados na posição oposta ao ponto desbalanceado. Encontrado o ponto próximo ao equilíbrio, devem-se fixar os contrapesos e verificar o balanceamento até encontrar um equilíbrio adequado. O balanceamento pode ser feito antes de montar a voluta sobre o suporte do conjunto como mostra a Figuras 23 e 24. Depois de balancear o rotor, fazer a montagem da voluta no suporte e dos demais componentes (Figura 25).

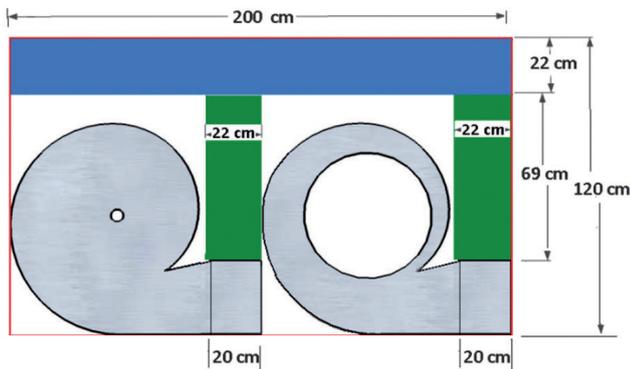


Figura 17. Marcação das linhas de cortes para melhor aproveitamento da chapa.

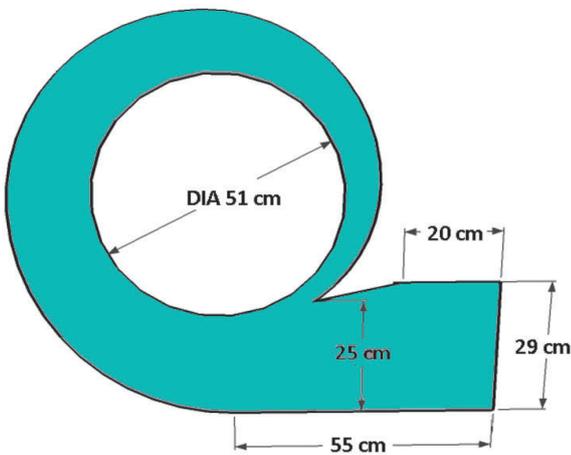


Figura 18. Lateral de sucção.

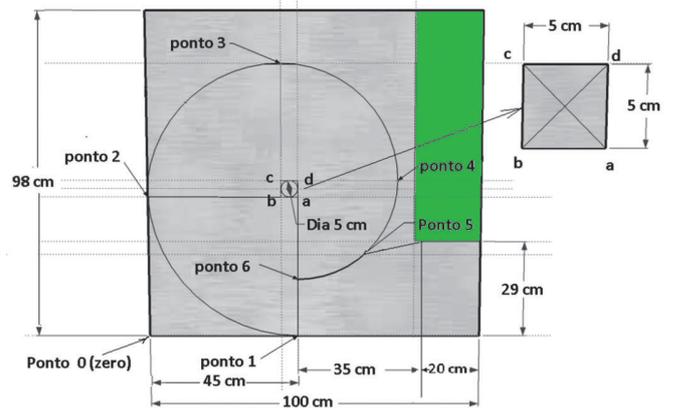


Figura 19. Traçado das laterais pelo método de Arquimedes.

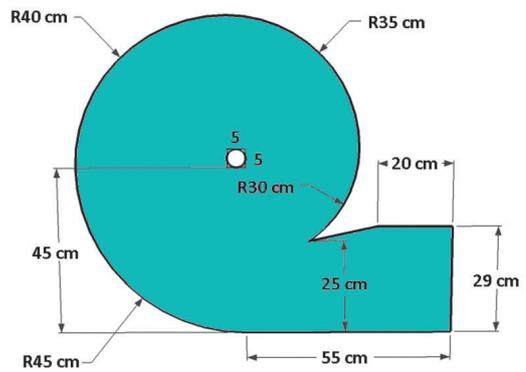


Figura 20. Lateral motora e suas dimensões básicas (em cm).

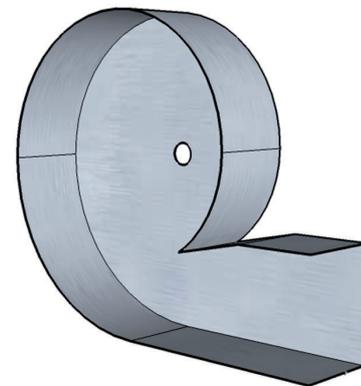


Figura 21. Lateral motora e suas dimensões básicas (em cm).

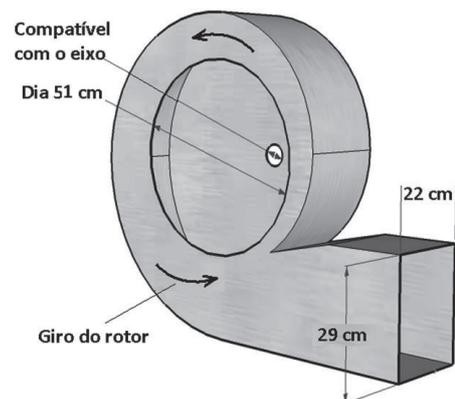
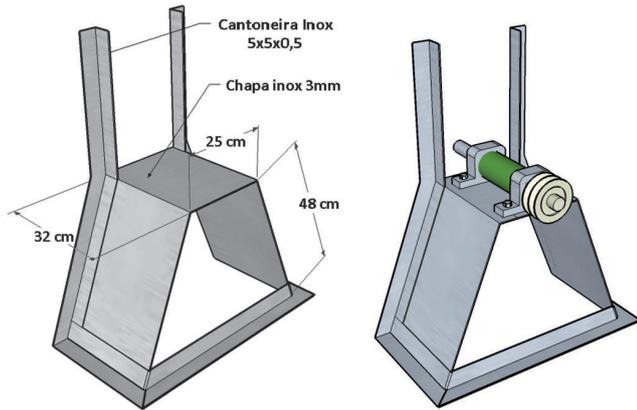
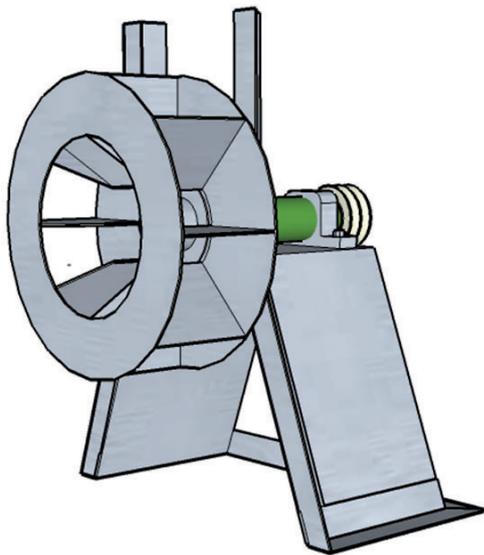


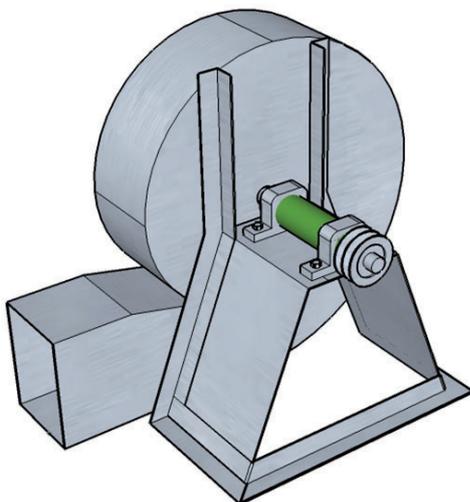
Figura 22. Lateral motora e de sucção montada na envolvente (segunda fase da montagem).



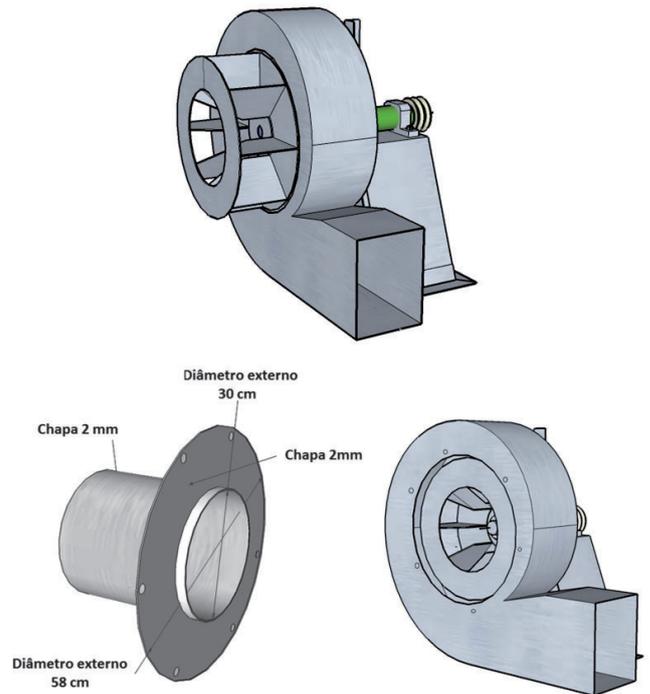
**Figura 23.** Suporte do conjunto e suas dimensões e eixo (terceira fase da montagem).



**Figura 24.** Posicionamento do rotor para verificar balanceamento.

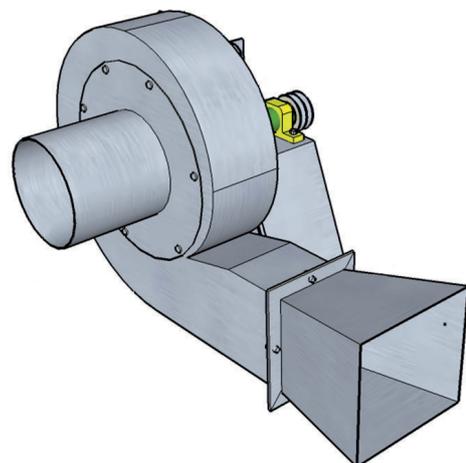


**Figura 25.** Montagem da voluta sobre o suporte (quarta fase).



**Figura 26.** Detalhes da lateral de sucção, mostrando o rotor montado e pronto para receber o distribuidor de ar.

**C. Acabamento:** terminados os trabalhos de solda, faz-se o acabamento do ventilador. Se for fabricado em aço carbono, use, para a pintura, tinta resistente a altas temperaturas, que é feita antes da montagem final do ventilador. Caso o ventilador seja construído em aço inox, o acabamento deve ser apropriado e não necessita de pintura. Deve-se, também, desenhar em uma parte bem visível (por exemplo, na parte alta da lateral motora) uma seta, indicando o sentido de giro do rotor. Comandado pela polia motora, o giro deve ter o mesmo sentido do movimento dos ponteiros do relógio (sentido horário). Para isso, a voluta deve ser montada de tal maneira que a boca de saída do ar esteja na parte inferior e à esquerda da lateral motora (Figuras 24 a 27).



**Figura 27.** Vista final do ventilador com detalhe do eixo e sentido de giro.

Para evitar acidentes e garantir o funcionamento correto do ventilador, antes de fazê-lo funcionar, o montador deve verificar o giro do motor sem acoplar as correias de transmissão. O rotor é acoplado ao eixo de modo semelhante ao da serra circular, isto é, a porca do eixo é do tipo “rosca esquerda”. Se o sentido de giro não for obedecido, o rotor não ficará retido ao eixo, podendo causar danos e até mesmo um acidente.

### Materiais Necessários

- eixo de serra de 1 ½” ou eixo comum de 1 ½”, mancais com rolamentos de esferas;
- uma chapa de 1.200 x 3.000mm aço inox 2mm
- 1 m<sup>2</sup> chapa inox 3mm preta no 8;
- 1 m<sup>2</sup> de chapa preta no 12;
- 12 parafusos com porcas 5/16” aço inox
- 28 parafusos com rosca soberba de 3/16” x ½” aço inox;
- quatro parafusos de 2” x ½”, para fixação do eixo (aço inox);
- 1 solda TIG;
- 20 kg de cantoneiras aço inox 1 ½” de espessura de 1/8” (ou similar), para construção do suporte do motor e voluta.

### Referências

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

COSTA, E. C. **Compressores**. São Paulo: Edgar Blücher, 1978. 172 p.

SILVA, J. S.; MELO, E. C.; PINTO, F. A. C. Seleção e construção de ventiladores. In: SILVA, J. S. (Ed.). **Secagem e armazenagem de produtos agrícolas**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2008. 560 p.

#### Comunicado Técnico, 3

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 (2013): 1.500 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, Sergio Mauro Folle.

#### 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