

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

ESPECIALIZAÇÃO em ENGENHARIA de SEGURANÇA do TRABALHO

Ventilação Aplicada à
Engenharia de Segurança
do Trabalho

(6ª Aula)

Prof. Alex Maurício Araújo

Recife - 2009

Ventiladores

Objetivo – Criar o **gradiente** energético para permitir o desejado **fluxo** de ar. Gerando uma p_{EST} suficiente para vencer as **perdas** do sistema e uma p_D para manter o ar em **movimento**.

Definições – São turbomáquinas (máquinas de fluxo) destinadas a produzir um fluxo contínuo de ar.

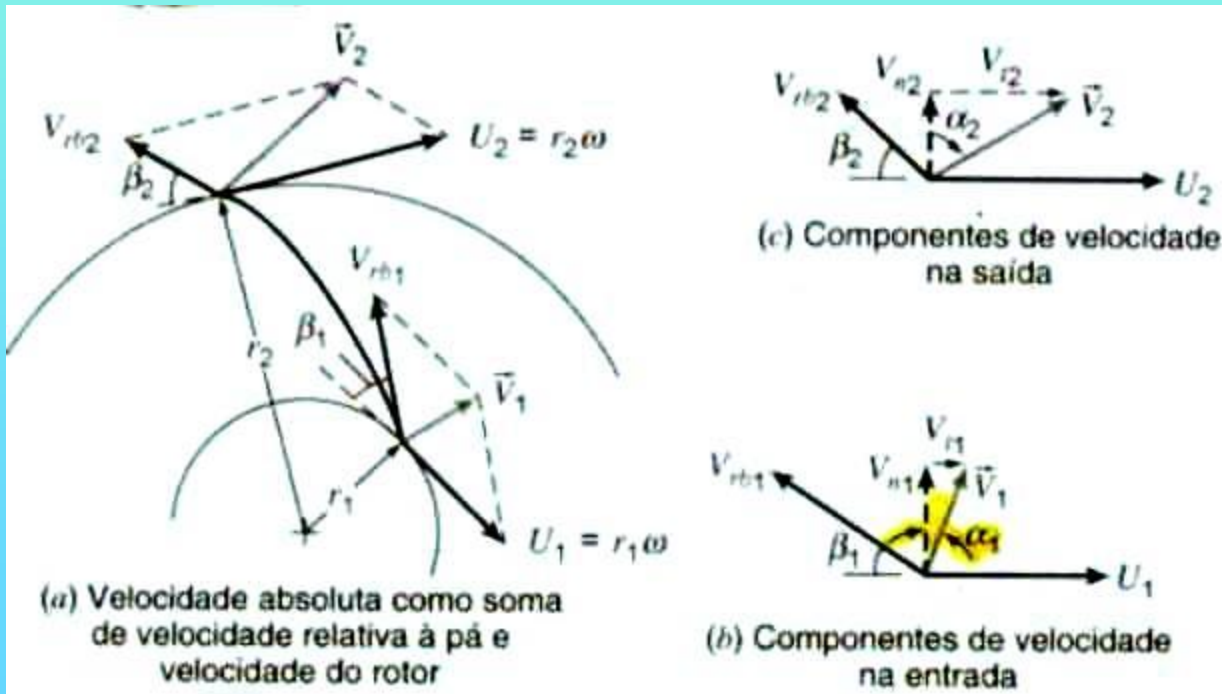
Turbomáquinas direcionam o fluxo de fluidos por meio de **pás** ou **aletas** fixadas num elemento rotativo (**rotor**).

Os **ventiladores** são estudados como uma máquina de fluxo **incompressível** (**máquina hidráulica**). Qdo. a compressão é **> 2,5 atm** usa-se os **turbocompressores** (**máquina térmica**).

Análise das turbomáquinas

Quando se quer informação geral sobre $(Q, \Delta p, T, N)$ deve ser usada a análise integral de (VC) finito. Nela se obtém a **eq. de Euler das turbomáquinas**: $N = (U_2 V_{t2} - U_1 V_{t1}) Q_M$; $Q_M = \rho Q$; e, V_{t_i} são componentes tangenciais da veloc. absoluta do fluido.

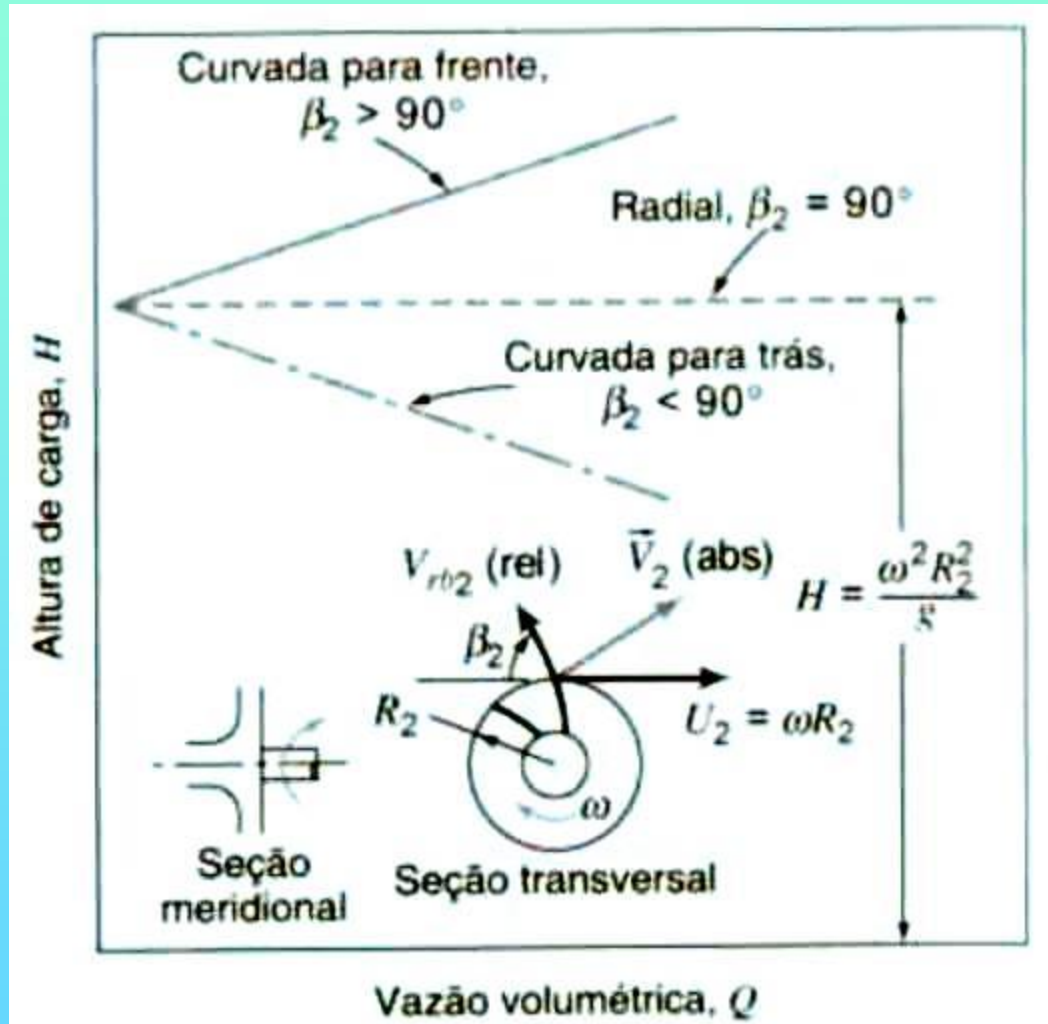
Diagramas de velocidades para rotor de fluxo radial



β - ângulos da pá são medidos a partir da direção circunferencial conforme indicado.

Quando $\underline{\beta_2 < 90^\circ}$ as aletas são curvadas para trás.

Influência da forma da pá (curvadas para frente, radiais e curvadas para trás) na curva (H x Q) de bomba centrífuga.

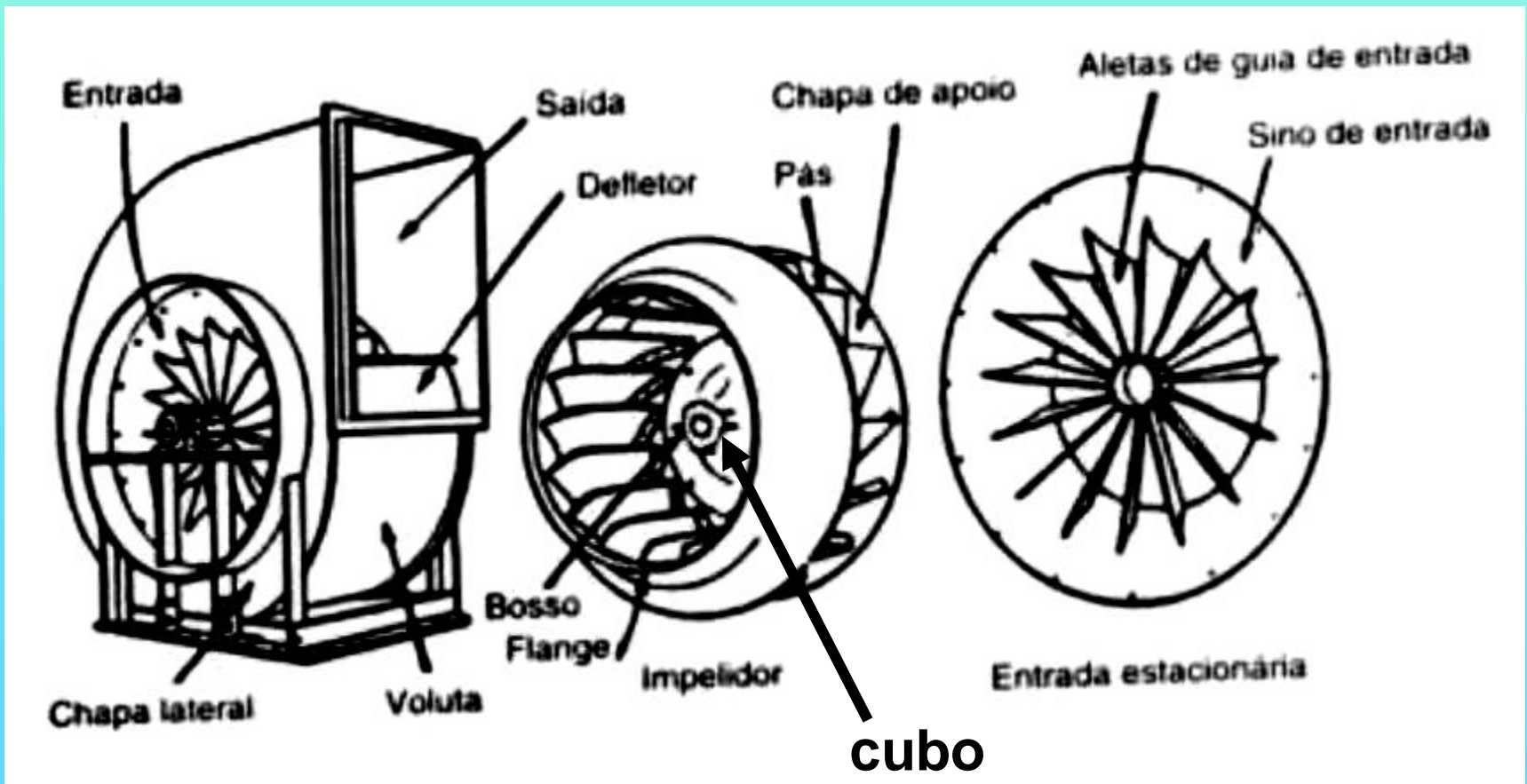


Pás curvadas para frente na prática são poucos usadas porque tendem a ter um ponto de operação instável, ver (slide 20).

(Ref. 5, pg 330)

- Tamanho:** {
- Refrigerar equipamentos eletrônicos ($Q = 1 \text{ m}^3/\text{h}$)
 - Ventilação de minas ($Q = 10^3 \text{ m}^3/\text{min}$)

Componentes principais em vista explodida



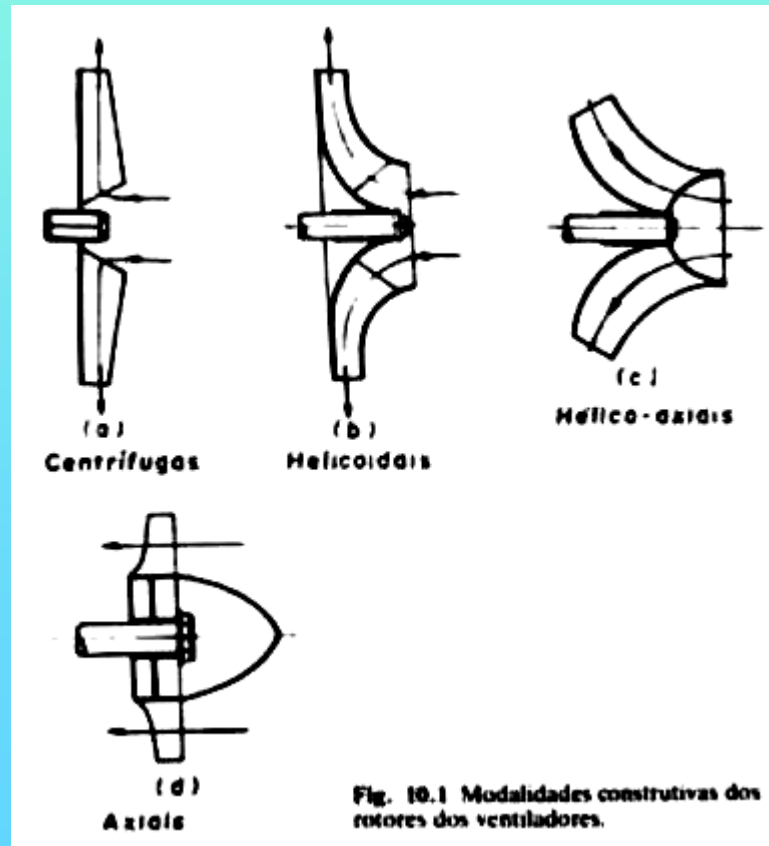
1 - Classificações

Quanto ao nível de pressão:

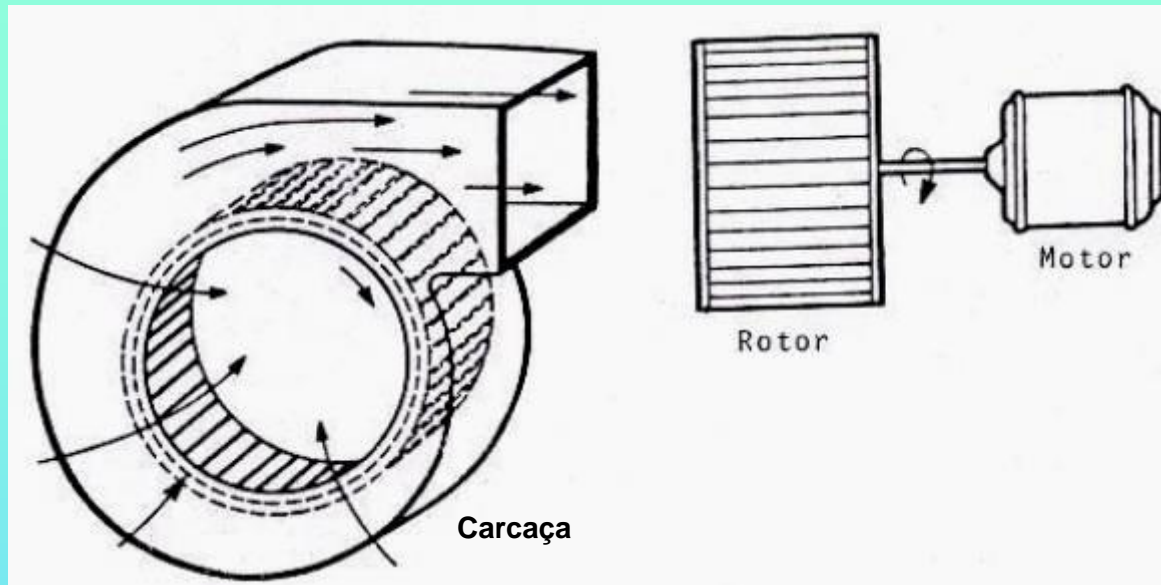
Baixa Pressão	$< 200\text{mmH}_2\text{O}$
Média Pressão	$(200 - 800)\text{mmH}_2\text{O}$
Alta Pressão	$(800 - 2500)\text{mmH}_2\text{O}$
Muito Alta Pressão (Tc)	$(2500 - 10000)\text{mmH}_2\text{O}$

Tc-Turbocompressor

Modos de construção do rotor:

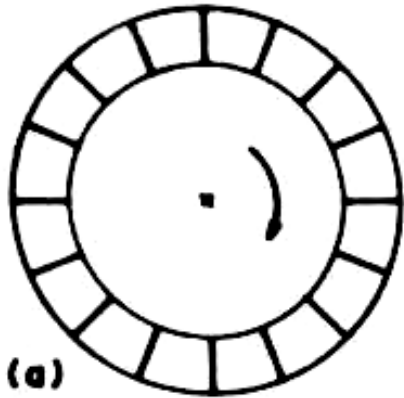


a) Centrífugo (muito usados)



Um ventilador centrífugo consiste em um **rotor**, uma **carcaça** de conversão de pressão e um **motor**. O ar entra pelo centro do rotor em movimento, e é direcionado para as palhetas onde é impulsionado para a periferia do rotor para fora das suas aberturas de descarga, entrando na voluta (carcaça).

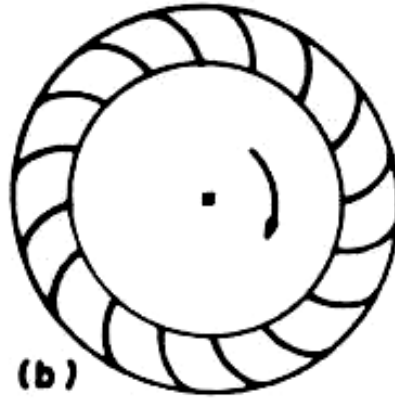
Forma das pás (evolução do projeto):



(a)

PÁS RADIAIS RETAS

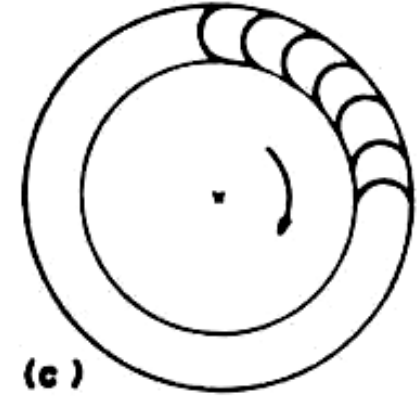
Robusto. Movimenta grandes cargas de partículas.
Trabalho pesado
Rendimento baixo



(b)

PÁS CURVADAS PARA TRÁS

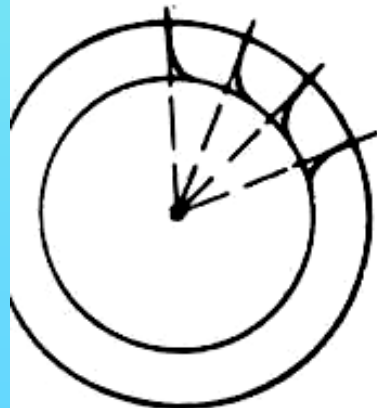
Usado para gases limpos.
Silencioso. Bom rendimento. Potência auto-limitada. Alta pressão



(c)

PÁS CURVADAS PARA FRENTE

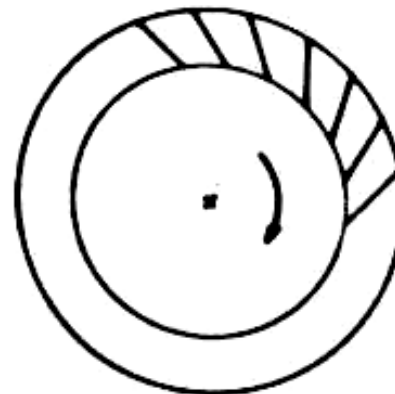
Bom rendimento
Alta pressão



(d)

PÁS CURVAS, DE SAÍDA RADIAL

Alta pressão
Grandes vazões

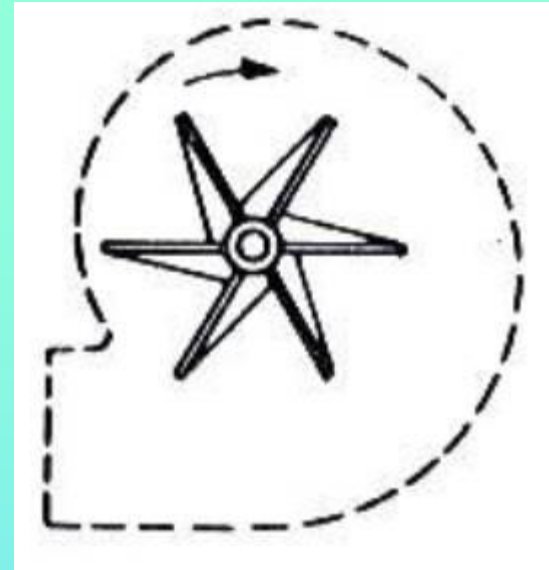


(e)

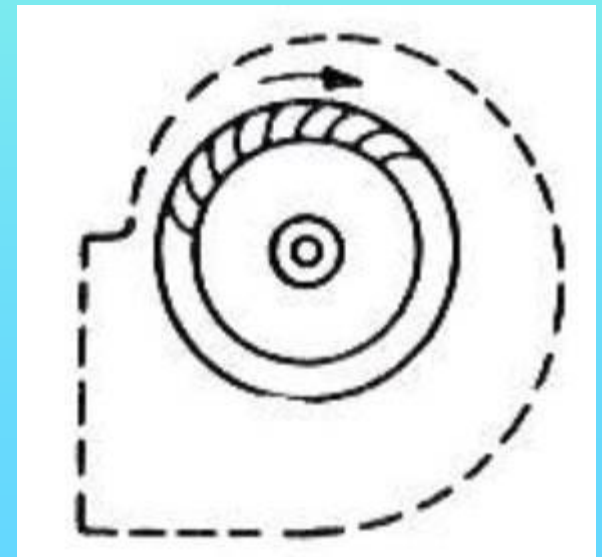
PÁS RETAS, PARA TRÁS

Media pressão
Para gases limpos ou com baixa concentração de partículas

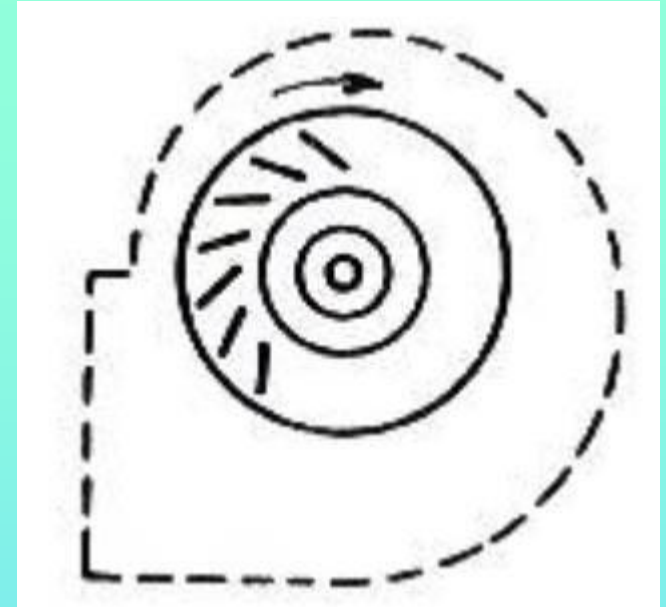
a) Centrífugo, pás radiais - Um ventilador robusto, para movimentar efluentes com **grande carga de poeira, poeiras pegajosas e corrosivas**. A eficiência desse tipo de ventilador é baixa, e seu funcionamento, barulhento.



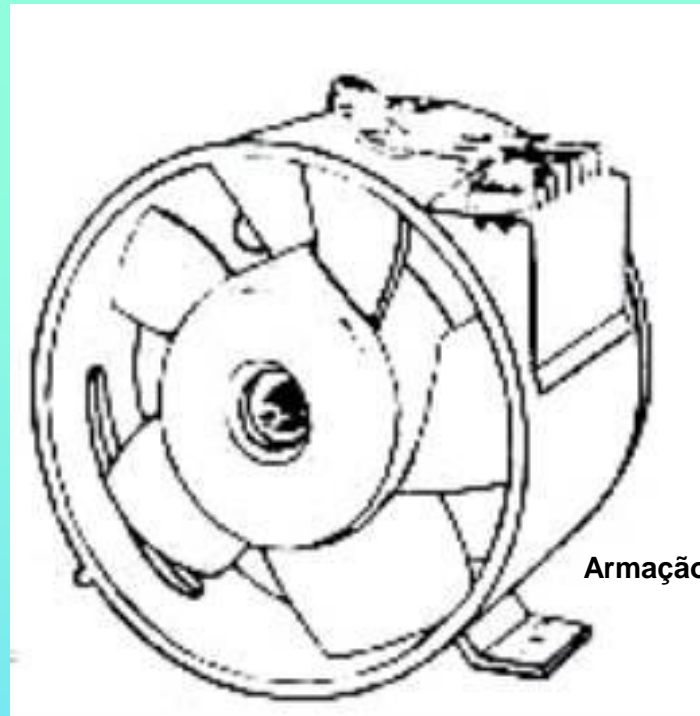
c) Centrífugo, pás para frente - Mais eficiente, tem maior capacidade exaustora a baixas velocidades, e **não é adequado para trabalhos de alta pressão nem para altas cargas de poeira, apresentando problemas freqüentes de corrosão**, se mal utilizado. Atingem pressão necessária c/ menor vel. periférica – menor ruído (Siroco – SVGD)



e) Centrífugo, pás para trás - Possui duas importantes vantagens: apresenta maior eficiência e auto-limitação de potência. Isso significa que, se o ventilador está sendo usado em sua máxima potência, o motor não será sobrecarregado por mudanças de sistema de dutos. **É um ventilador de alta eficiência e silencioso, se trabalhar num ponto de operação adequado.** Uso em operação contínua e c/ elevada demanda de potência.



Axial



O **ventilador de hélice** consiste em uma hélice montada numa armação de controle de fluxo, com o motor apoiado por suportes normalmente presos à estrutura dessa armação. O ventilador é projetado para movimentar o ar de um espaço fechado a outro em que as diferenças de **pressões estáticas são relativamente baixas**. O tipo de armação, a posição e forma da hélice tem influência decisiva no desempenho do fluxo de ar e na eficiência do próprio ventilador. Tendem a ter alta veloc. de giro, podendo ser ruidosos.

Ventilador Axial :

Os *Ventiladores Axiais* podem ser instalados em paredes, tubulações ou circulação de ar livre, como uma solução econômica e eficiente em diversas aplicações. Conforme o **posicionamento da hélice na montagem**, os ventiladores podem ser usados para **exaustão** ou **insuflamento** de ar.

Aplicações:

- ventilação ambiental, para renovação do ar (calor excessivo, umidade, fumaças, etc.);
- exaustão de gases ou poeira gerados em processos industriais;
- casos onde haja necessidade de um fluxo de ar com baixa pressão estática.

Vantagens:

- longa vida útil;
- alto rendimento aerodinâmico;
- versatilidade de aplicações;
- simplicidade de instalação;
- solução econômica e prática.

Características Construtivas:

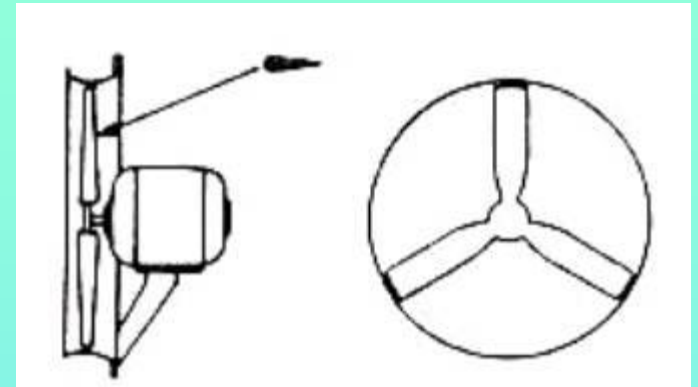
Hélice: pás de aerofólio em alumínio fundido ou polipropileno moldado.

Carcaça: em chapa de aço.

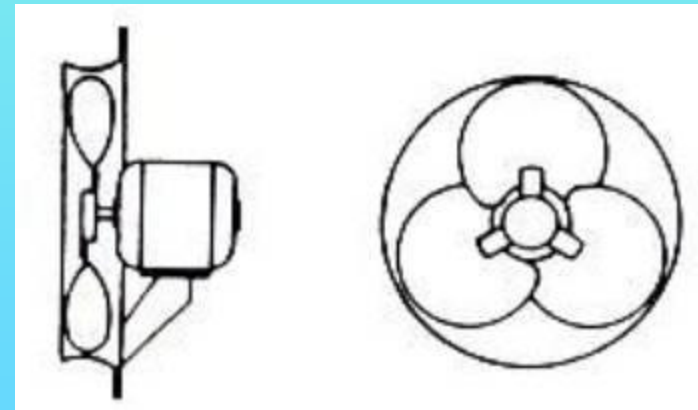
Acionamento do motor: **direto**, com o motor diretamente acoplado ao eixo, ou **indireto**, por meio de correias e polias. Este último é aplicado nos casos onde os contaminantes transportados com o ar podem **afetar a durabilidade e/ou funcionamento do motor**.



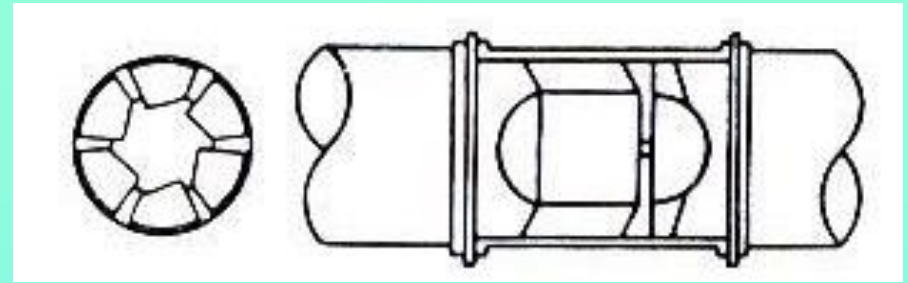
Axial propulsor - É o tipo mais barato para mover grandes volumes de ar a baixas pressões. Sendo freqüentemente utilizado para circulação de ar ambiente.



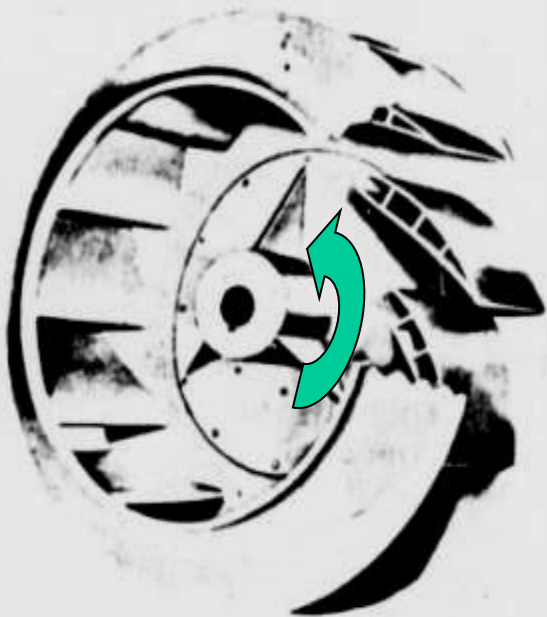
Axial comum - Possui ampla calota central, que possibilita sua utilização a pressões mais elevadas. É freqüentemente usado em ventilação de minas subterrâneas e, em algumas ocasiões, em indústrias. Nesse tipo de ventilador, a forma das pás é muito importante, e eles não devem ser usados onde haja risco de erosão e corrosão.



Tubo-axial - Trata-se de um propulsor, com pás mais grossas mais largas, colocado dentro de um tubo, o que permite uma direta conexão com os dutos.



Exemplos de rotores



<http://www.higrotec.com.br/>

Fig. 10.4a Rotor tipo "A" pás *airfoil*, para trás (Higrotec), 600 a 954 m^3/h , 5 a 760 mmH_2O . Elevado rendimento e nível de ruído muito baixo

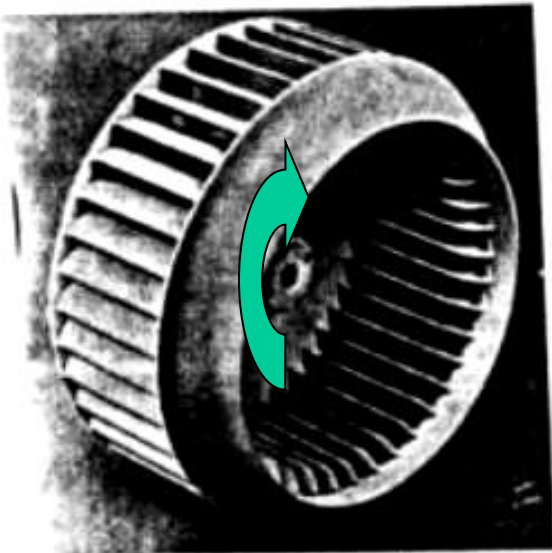
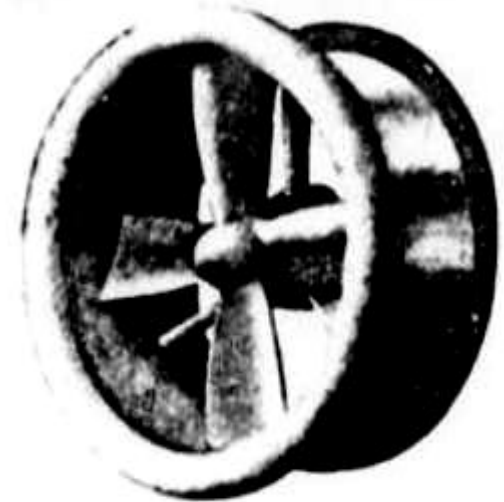
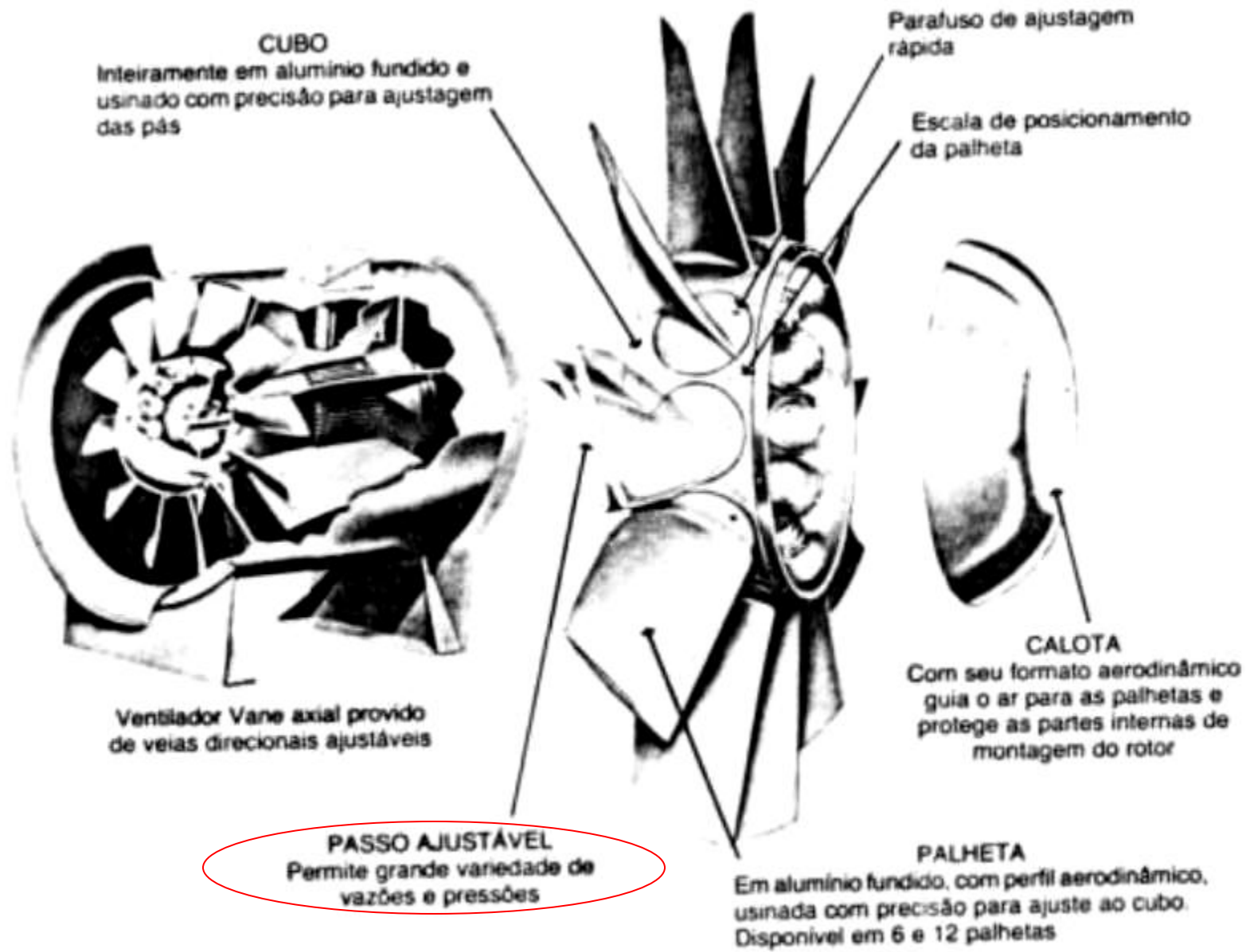


Fig. 10.3 Ventilador Sulzer com pás para trás



TIPO H
Axial
Para insuflamento ou exaustão do ar
Pode ser colocado em dutos
 Q — 0,1 a 40 m^3/s
 H — 0,1 a 20 mmH_2O



Ventilador Super Vaneaxial de pás ajustáveis — VAV, volume de ar variável. Fabricante: Higrotec

2 - Leis dos ventiladores

- 1) A partir das condições com que um ventilador funciona e aplicando as **leis de semelhança** pode-se estimar os valores das diversas grandezas quando uma ou mais sofre variação.
- 2) Com o uso de **modelo reduzido** e princípios de **semelhança geométrica, cinemática e dinâmica** estabelece-se as grandezas correspondentes de um protótipo.
- 3) A vazão varia com a rotação, a pressão desenvolvida varia com o quadrado da rotação e a potência varia com o cubo da rotação.
- 4) Essas relações, acrescidas das que mostram a variação da **vazão**, da **pressão** e da **potência**, com a **massa específica** do fluido e o **tamanho** do ventilador, constituem as chamadas **leis dos ventiladores**.

As leis dos ventiladores podem ser expressas conforme segue:

- a. Para um mesmo rotor e fluido com rpm diferentes;
- b. Para um mesmo rotor e rpm com fluidos distintos;
- c. Para mesmo fluido, mesma rpm e rotores geometricamente semelhantes;
- d. Para um mesmo fluido, rpm diferentes e rotores geometricamente semelhantes (ex. slide 23);

Exemplo de uso das leis:

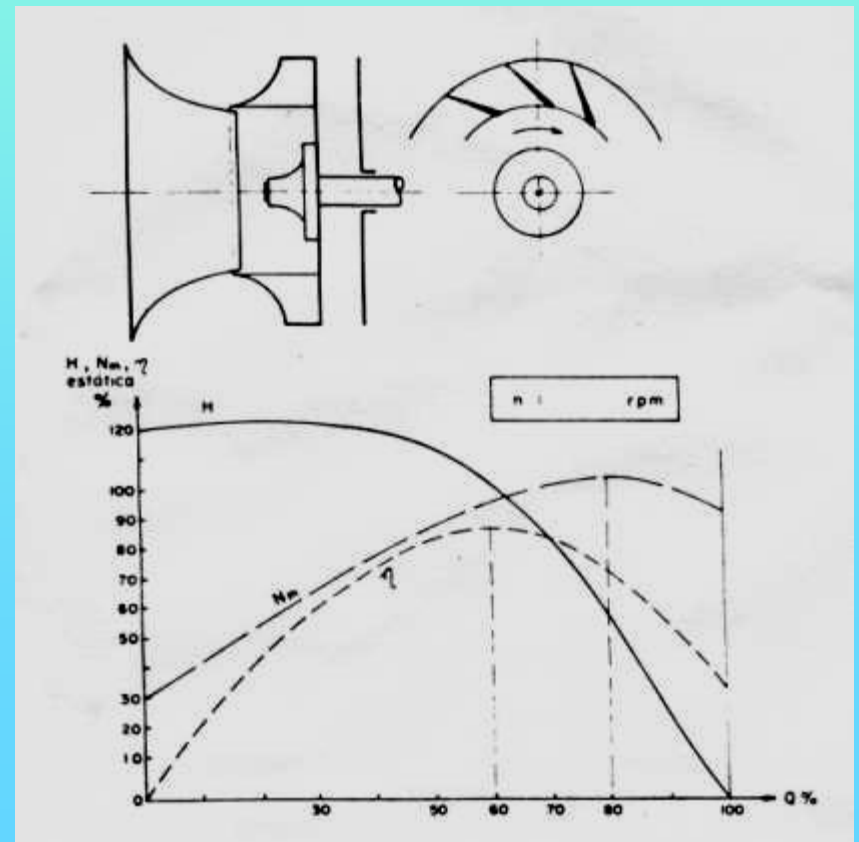
A variação da vazão com a rotação faz com que muitos se proponham a aumentá-la, com o objetivo de conseguir maiores vazões. Porém, o aumento da potência com o cubo da rotação, faz com que o motor originalmente utilizado nem sempre suporte esse aumento. Cuidados de ordem estrutural do ventilador também devem ser tomados.(ex. slide 24).

3 - Curvas características típicas

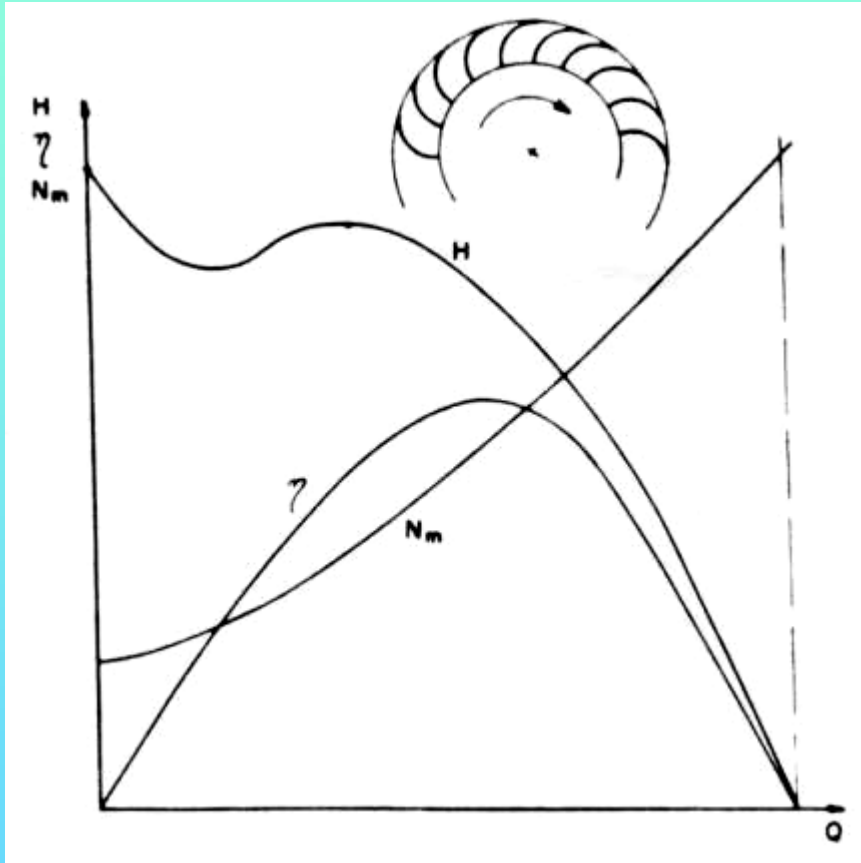
São curvas obtidas em ensaios em laboratório para seleção e análise do comportamento da máquina. Usa-se **duto instrumentado**, onde a Q é obtida por meio de **Pitot transverso**, medindo-se variações em 2 grandezas com as demais fixadas. Por exemplo, para $n = \text{cte.}$ obtém-se as variações de (H , N_m e η) em função da vazão (Q).

Pás para trás (perfil em asa):

- Curva de $N_{m(\text{Potência})}$ atinge um máximo
- Instalações com elevada demanda de N_m
- Operações contínuas
- Cobre ampla faixa de Q

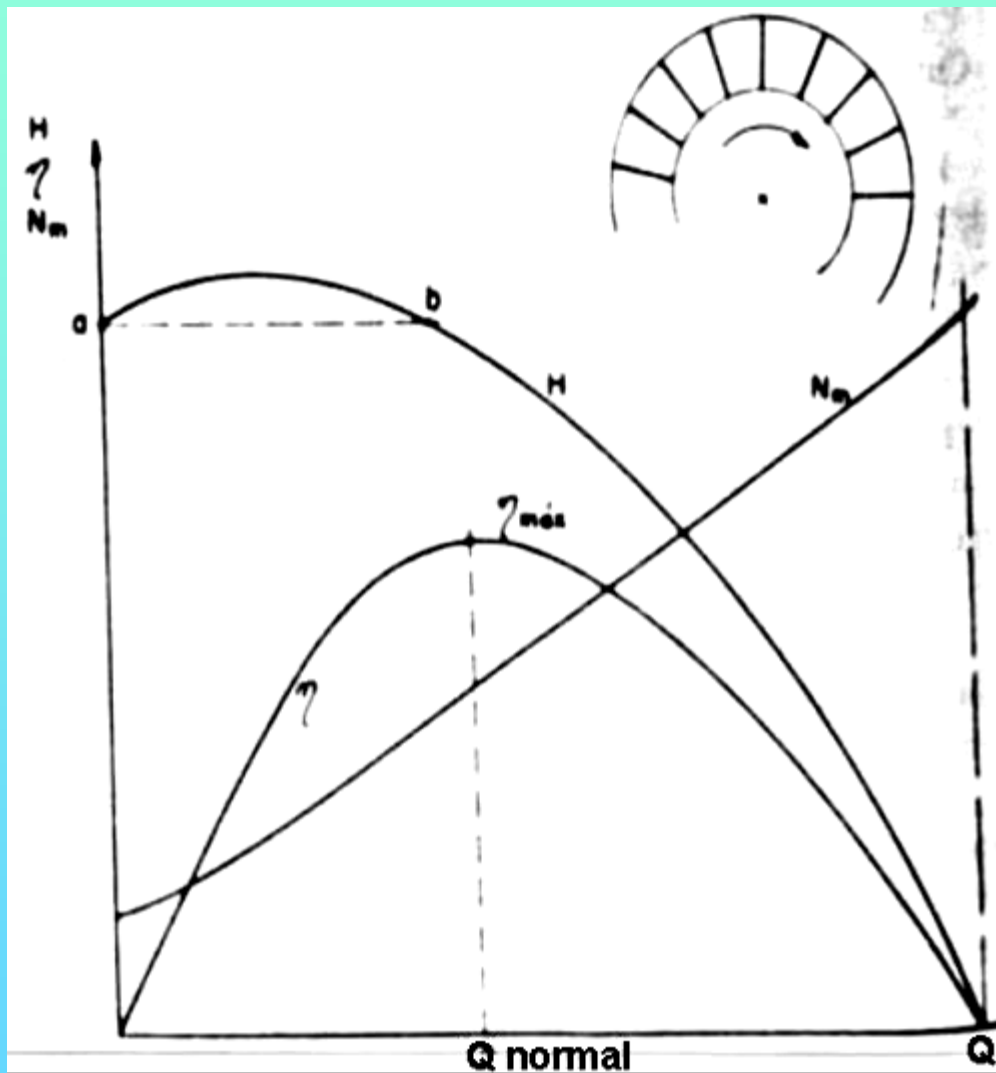


Pás para frente (Siroco – gaiola de esquilo) :



- Pás de chapas metálicas finas e próximas;
- SVGD, serviço intermitente
- Tamanho reduzido
- Baixo custo inicial
- Menor rendimento
- Nível de ruído reduzido quando operando na eficiência máxima.
- Faixa de uso estreita (limite inferior pela instabilidade e superior pelo baixo η)

Pás retas radiais:

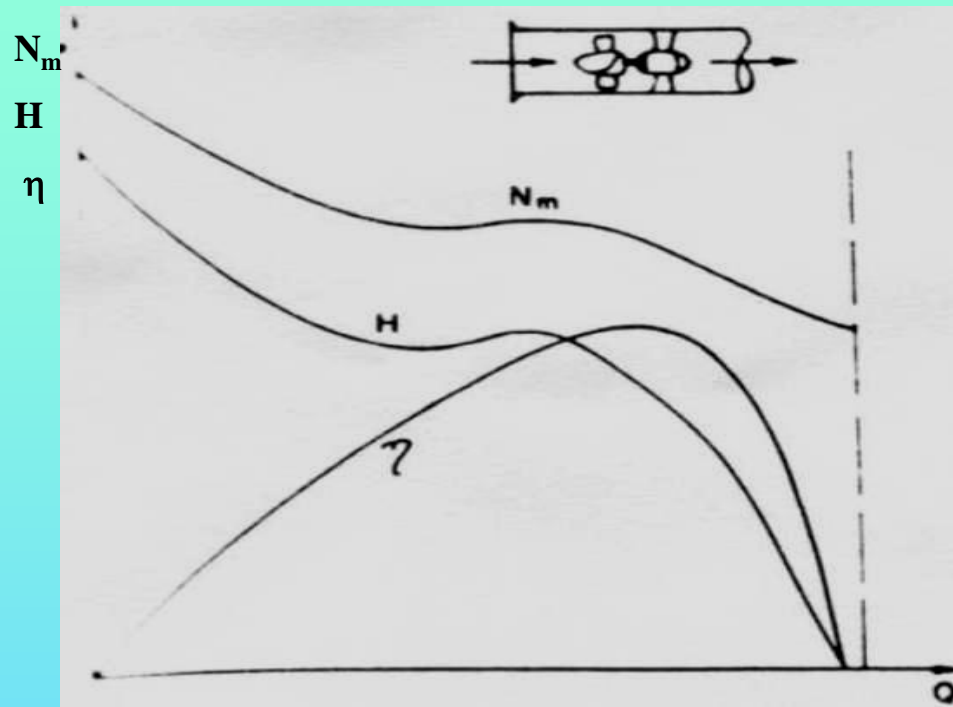


-Forma pioneira dos ventiladores centrífugos

-Apresenta **trecho a – b de funcionamento instável**;

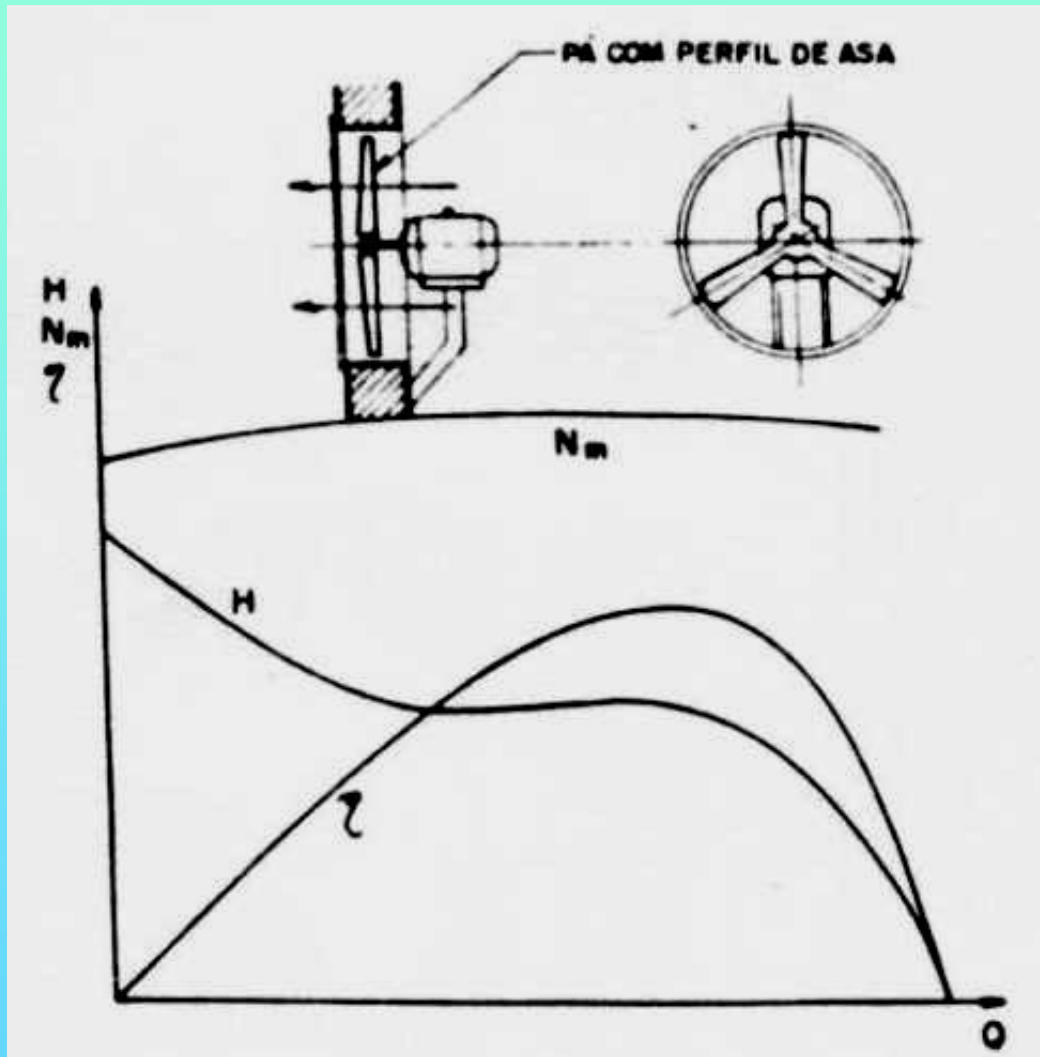
-Pressões e rendimento médios.

Ventilador tuboaxial:



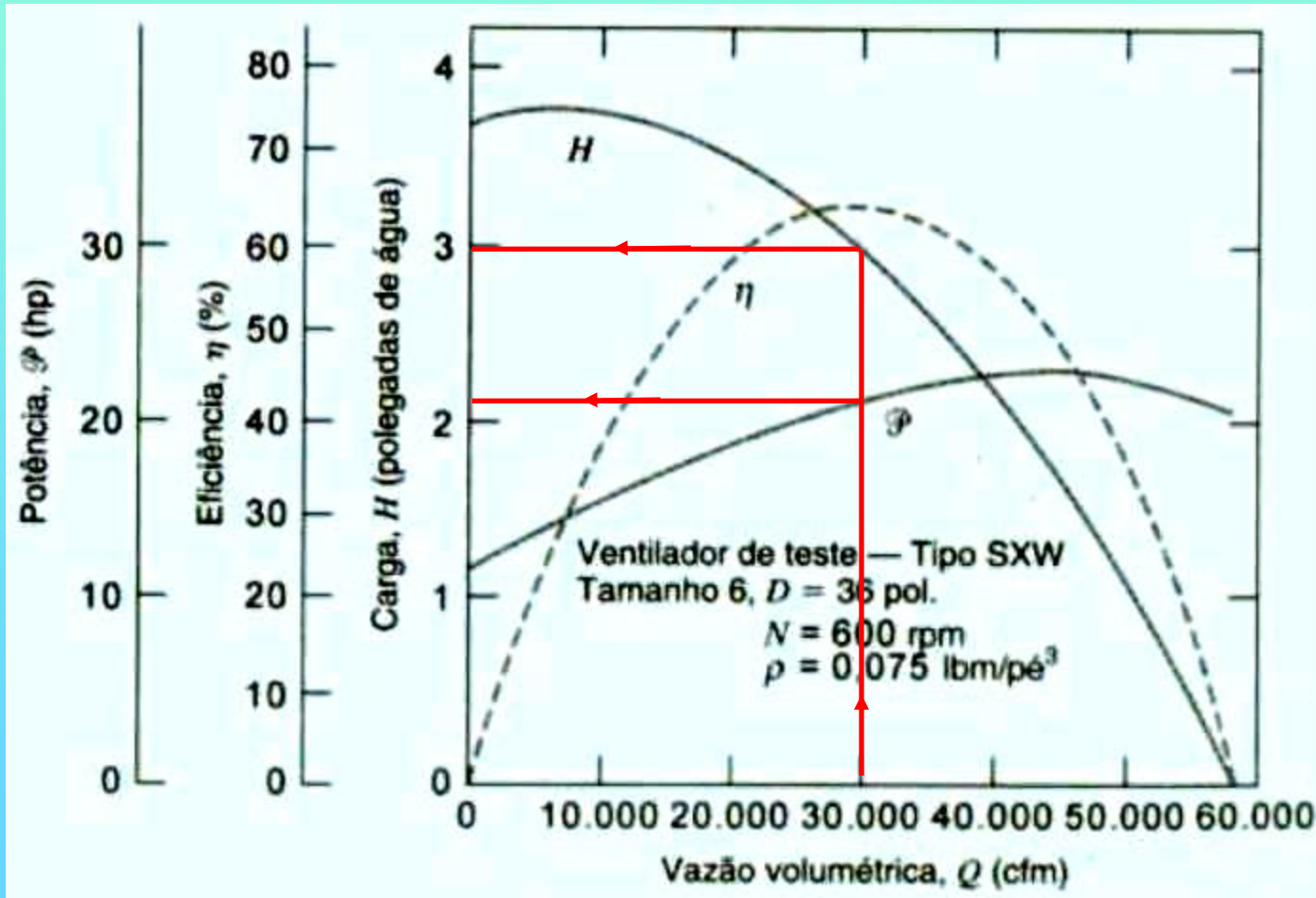
- A curva de potência N_m tende a cair com Q
- É muito usado em ventilação
- Em altas n's são barulhentos

Ventilador axial (pá em forma de asa):



- Fornecem grandes Q contra elevadas resistências
- Alta eficiência
- Ruidosos (elevada velocidade de rotação)
- Baixas pressões.

Exemplo: As curvas de desempenho de um (VC) – Tipo 5XW com $D = 36$ pol, $N = 600$ rpm e $Q = 30000$ cfm usando ar ($\rho = 0,075$ lbm/pé³) foram obtidas em bancada de testes. Transportar os dados por escala para **prever o desempenho de máquina semelhante** com $D' = 42$ pol, $N' = 1150$ rpm e $\rho' = 0,045$ lbm/pé³.



(Ref. 5, pg 358)

Das **curvas características** de desempenho para o ventilador centrífugo dado, para $Q = 30000\text{cfm}$, obtém-se : carga (H) ou pressão em pol. $\text{H}_2\text{O} = 2,9$, e potência $P = \pm 21,5$ em hp.

As **leis de escala para ventiladores** são:

$$Q' = Q (N'/N) (D'/D)^3 = 30000\text{cfm} (1150/600) (42/36)^3 = 91300\text{cfm}; \text{-----} \rightarrow (91300/30000 = 3x)$$

$$p' = p (\rho'/\rho) (N'/N)^2 (D'/D)^2 = 2,9\text{pol H}_2\text{O} (0,045/0,075) (1150/600)^2 (42/36)^2 = 8,9 \text{ pol. H}_2\text{O}; \text{---} \rightarrow (8,9/2,9 = 3x)$$

$$P' = P (\rho'/\rho) (N'/N)^3 (D'/D)^5 = 21,5 \text{ hp} (0,045/0,075) (1150/600)^3 (42/36)^5 = 195 \text{ hp. --} \rightarrow (195/21,5 = 9x)$$

4 - Seleção e instalação

Requerem uma solução de compromisso.

Para minimizar o consumo de energia deve-se operar no ponto de $\eta_{\text{máx}}$. Para reduzir o tamanho para uma dada Q se tenta operar a uma Q maior do que no $\eta_{\text{máx}}$. No caso real deve-se levar em conta fatores como: **espaço disponível**, **custo inicial** e **horas de operação / ano**. **Não se deve operar um ventilador a Q abaixo do $\eta_{\text{máx}}$ (seleção)**.

Precisa-se considerar um sistema de dutos tanto na entrada como na saída do (V) para se ter uma instalação satisfatória. **Um ventilador sem duto de descarga pode ficar muito abaixo do desempenho medido em bancada**.

Dados necessários para a **seleção correta** de um ventilador (I)

- Capacidade ou Vazão?
- Pressão Estática ou Total?
- Potência Absorvida?
- O ventilador será centrífugo ou axial?
- Pode ser silencioso, de médio ou alto ruído?
- Vai aspirar ar limpo, sujo, com pós, fiapos ou corrosivos?
- Sendo corrosivo, quais são os agentes?
- Qual a temperatura do ar aspirado?
- Qual o diâmetro da peça onde vai ser ligado o ventilador, se for o caso?
- Se vai aspirar de uma coifa ou captor, quais as suas dimensões?

(II)

- Não sabendo a capacidade, indicar o volume do ambiente, o numero de pessoas presentes, a potência instalada, os kg/hora de óleo queimado, etc.
- No caso de o ventilador ser centrífugo, indicar a posição da boca de saída, olhando do lado do motor ou da polia.
- Qual é o diâmetro e o comprimento dos dutos onde vai ser ligado o ventilador?
- Quantas curvas tem esse duto?
- Esse duto termina na atmosfera ou dentro de uma máquina? Como se chama essa máquina?
- Trata-se de instalação de ventilação para fins de conforto ou para fins de aspiração de poeiras, ou troca de calor, ou de ar condicionado, civil ou industrial, ou torres de arrefecimento de água, ou de cabine de pintura?

5 - Procedimento de seleção e verificação de aplicação

A. Seleciona-se um tipo de máquina adequada à aplicação de um catálogo completo do fabricante que dê as faixas de elevação de H (pressão) e Q (vazão).

B. Escolhe-se um modelo de máquina e velocidade, a partir de diagrama de seleção que superpõe as faixas de H e Q de uma série de máquinas.

C. Verifica-se a aplicação, usando-se curva de desempenho detalhada para a máquina específica.

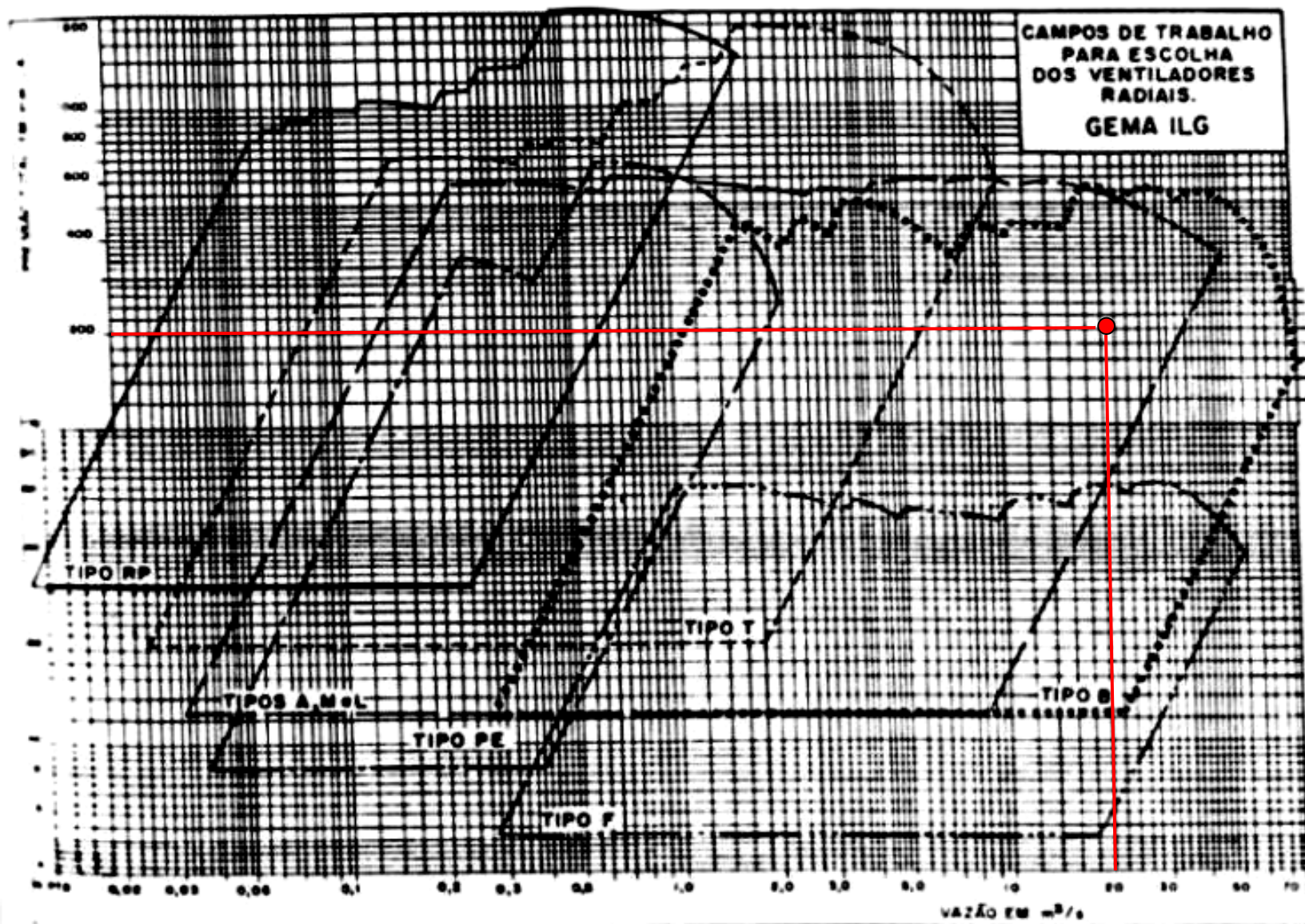
Exemplo:

Para remover por exaustão materiais abrasivos em condições severas com $Q = 20\text{m}^3/\text{s}$ e pressão $H = 200\text{mmca}$, **selecione** o tipo de **modelo de ventilador** do fabricante GEMA. **Calcule** a **potência motriz** teórica (BHP) fornecida pelo **motor** ao eixo do rotor do ventilador.

- A. Do catálogo \rightarrow TIPO B e TIPOS A, M e L (Ref. 1, pg 173)
- B. Do catálogo \rightarrow TIPO B \Rightarrow ar limpo \Rightarrow TIPO L (Ref. 1, pg 174)
- C. Do catálogo \rightarrow TIPO L (rotor) \Rightarrow Modelo LSO (Ref. 1, pg 174)
- D. Cálculo da potência

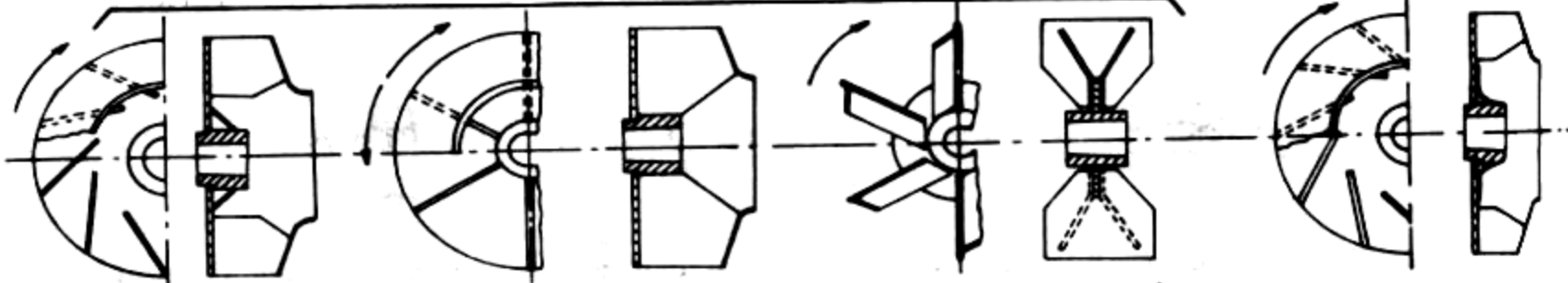
$$H = 200\text{mmH}_2\text{O} = 0,2\text{mca} \rightarrow p = \rho_{\text{H}_2\text{O}}gH = 10^3 \cdot 10 \cdot 0,2 = 2000\text{Pa} = \rho_{\text{ar}}gH_{\text{ar}} \rightarrow H_{\text{ar}} = 166,7\text{m}$$

$$P = \rho g H Q = 1,2 \cdot 10 \cdot 166,7 \cdot 20 = 40\text{kW}$$



10.18 Gráfico de quadriculas para escolha de ventilador centrifugo da industria Ventiladores GEMA

ROTORES DE MESMA CARÇAÇA



ROTOR TIPO A

Aplicação: Fins industriais leves, aspiração de ar, gás, vapor (350°C) pões, pó e fumaças, transporte de materiais leves.

Revestimento: De qualquer espécie e espessura.

ROTOR TIPO M

Aplicação: Fins industriais meios-pesados. Transporte de materiais como cavacos de madeira, pó de esmeril, resíduos de polítrix e cereais em grãos.

Revestimento: De qualquer espécie e espessura.

ROTOR TIPO L

Aplicação: Fins industriais pesados. Materiais abrasivos (350°C), corrosivos e outras condições de serviço extremamente severas, executando, quando necessário, as palhetas em materiais apropriados.

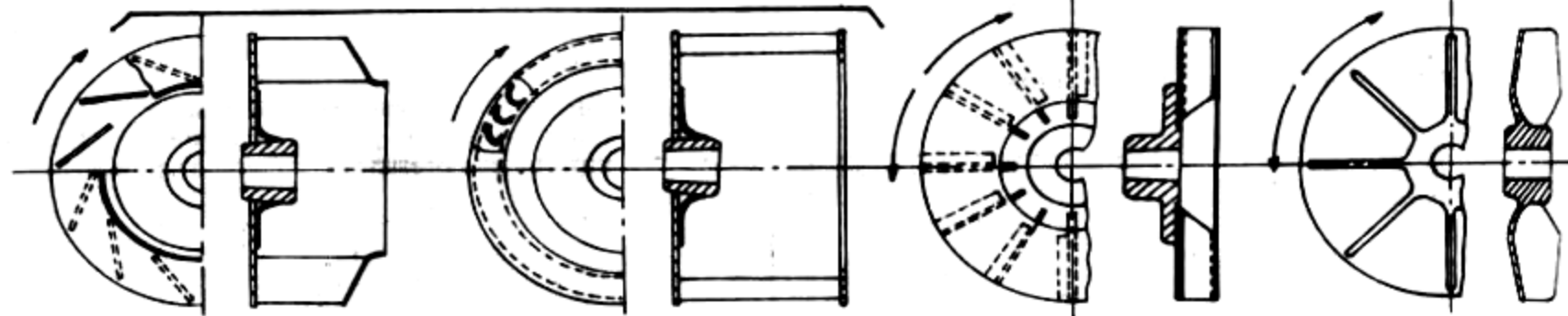


ROTOR TIPO T

Aplicação: Fins industriais normais (350°C) mais, como ar, gás, vapor e fumaça.

Revestimento: De qualquer espécie e espessura até 1 mm.

ROTORES DE MESMA CARÇAÇA



ROTOR TIPO B

Aplicação: Fins de conforto, observado o limite de 26 m/s na velocidade circunferencial, fins industriais leves, como ar limpo ou levemente empoeirado e gases quentes.

Revestimento: De qualquer espécie e espessura.

ROTOR TIPO F

Aplicação: Fins de conforto, com alta silenciosidade, limitando a velocidade do ar da boca de saída em 10 m/s.

Revestimento: De qualquer espécie e espessura até 1 mm (dificuldade para lençol de PVC).

ROTOR TIPO RP

Aplicação: Fins industriais normais como ar, gás, fumaças (100°C) e vapores com pressões até 2.000 mm ca.

Revestimento: Não aplicável.

Fabricação: Rotor em aço ou alumínio.

ROTOR TIPO PE

Aplicação: Aspiração de pó, gás, fumaças, vapores (60°C) fibrilhas. Transporte pneumático de certos materiais.

Revestimento: Qualquer espécie e espessura até 1 mm.

Fabricação: Ferro ou alumínio tratado, aço carbono, aço inoxidável, bronze e latão.

