



FLUXO ÓTIMO

APLICADO A INVERTORES DE
FREQÜÊNCIA PARA ECONOMIA
DE ENERGIA

Norton Petry
Gerente de Desenvolvimento
WEG Automação



- Minimização de perdas em motores de indução operando em baixas rotações
- Função **FLUXO ÓTIMO** patenteada e implementada na nova geração de inversores CFW11

O CFW-11 VEM COMPLETO, PRONTO PARA “PLUG-AND-PLAY”
PARA A MAIORIA DAS APLICAÇÕES INDUSTRIAIS

- 1.1 a 45 kW
- 200-240 V e 380-480 V
- Potências / tensões mais altas em desenvolvimento
(até 2000 kW / 690 V)

MEC D



MEC C



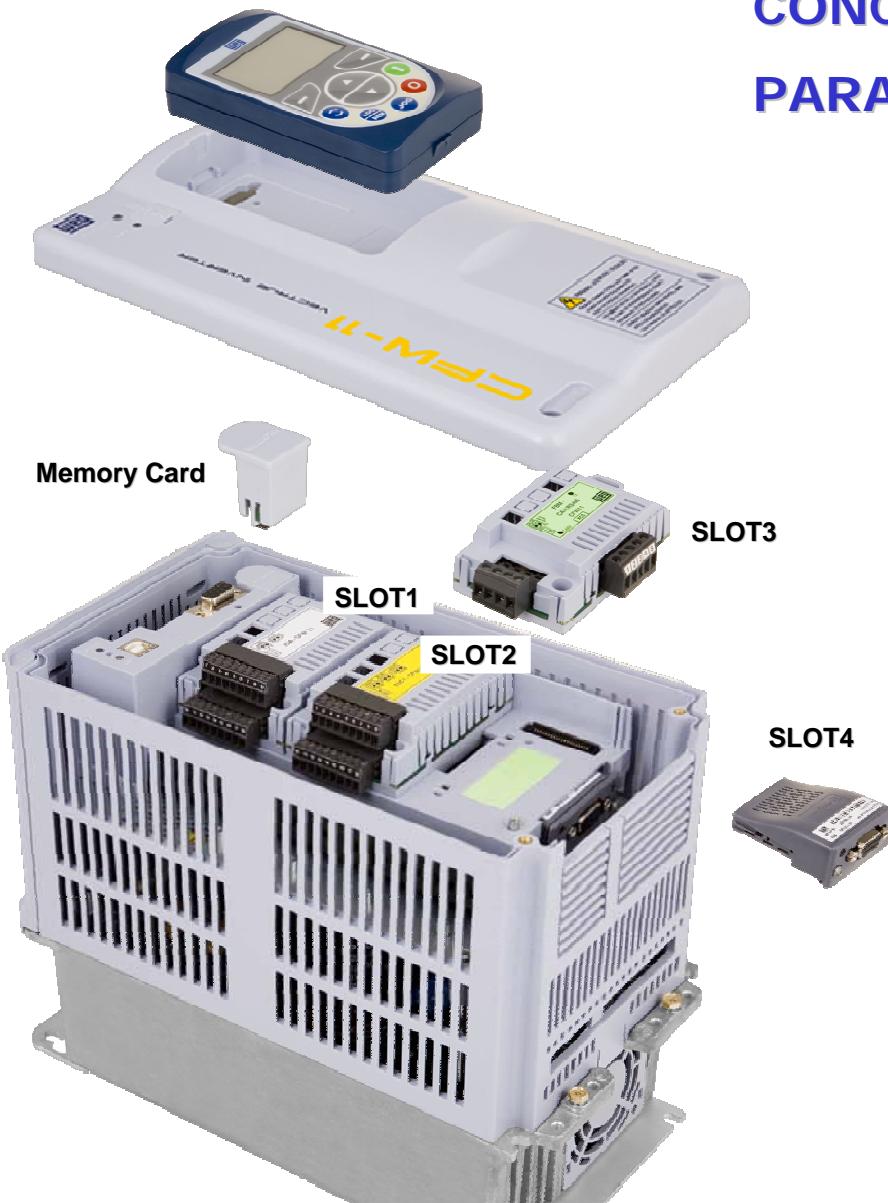
MEC B



MEC A



CONCEITO AMPLO DE “PLUG-AND-PLAY”
PARA POTÊNCIA E CONTROLE

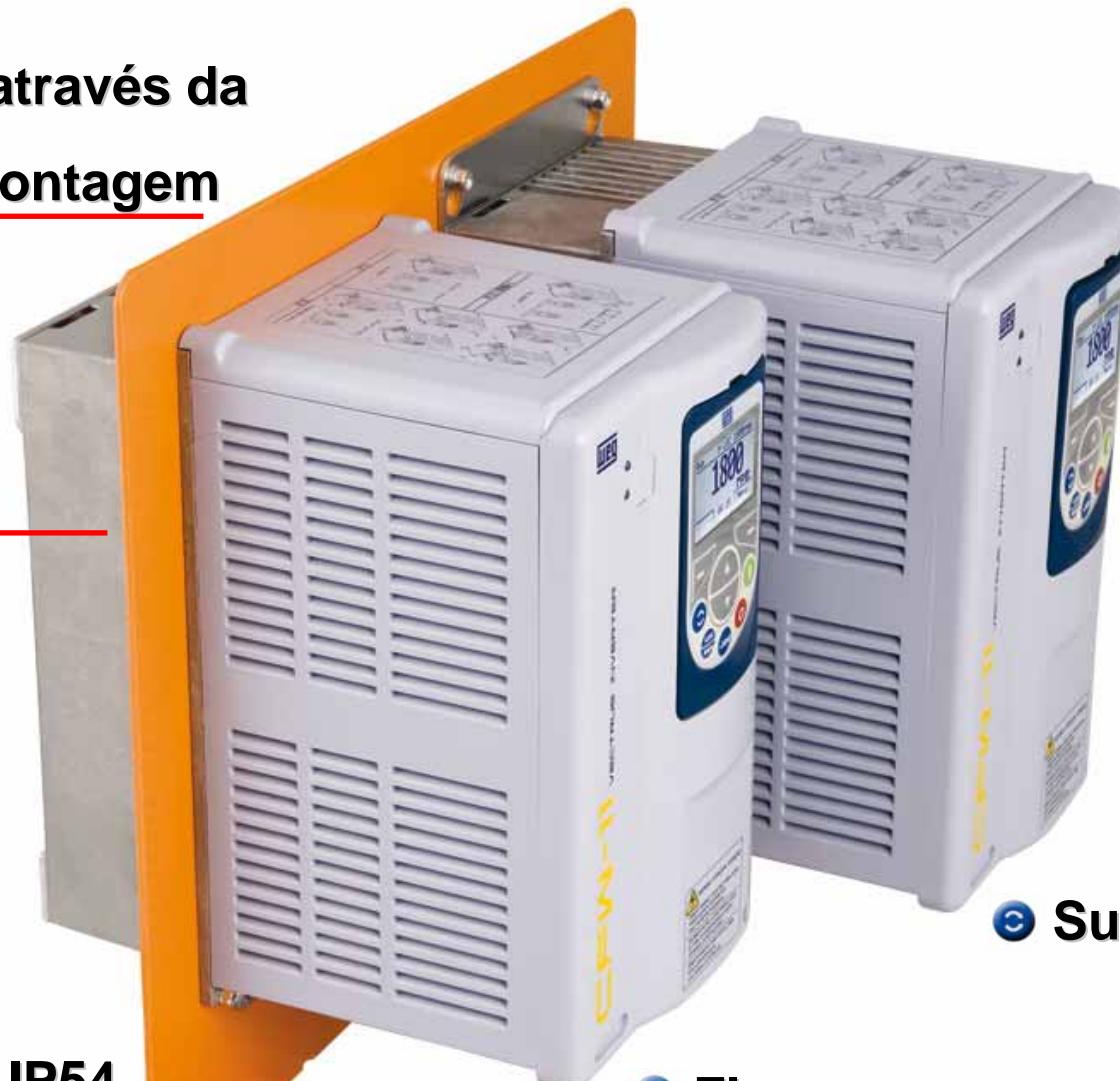


- Conexões de força feitas diretamente à alimentação da linha, sem necessidade de filtros ou reatância
- Frenagem dinâmica incorporada
- Ampla faixa de operação de temperatura sem redução de corrente (-10...50°C)
- “Start-up Orientado” guiando o usuário através da programação necessária

CONCEITO AMPLO DE “PLUG-AND-PLAY” PARA POTÊNCIA E CONTROLE

- Acessórios de controle (como expansão de E/S, interfaces de comunicação e encoder) são facilmente instalados e automaticamente configurados
- Conexão USB com o PC, executando software “SUPERDRIVE” (em ambiente WINDOWS), para programação, monitoração e diagnóstico
- IHM possui display gráfico, backlight e teclas soft-keys para fácil operação (tipo telefone celular)
- Ajuste automático para o modo de controle vetorial

Dissipador através da
placa de montagem



● Superfície - IP21/IP20

Proteção IP54

● Flange

CFW-11

Montagem lado a lado (IP20) sem espaçamento: painéis mais compactos



IP20

CFW-11

- IP21 / Nema 1 / IP20 com kit eletroduto

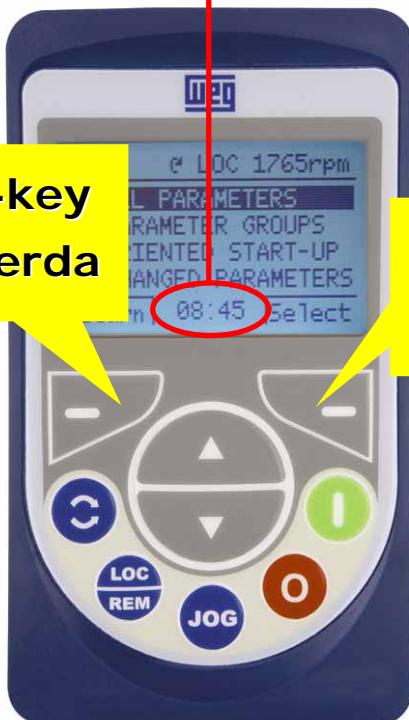


CFW-11

- Display gráfico
- Soft keys para fácil operação
- Start-up orientado
- Backlight
- Relógio em Tempo Real (RTC)
- Seleção de idiomas
- Função Copy
- Plug-in
- IHM Remota (IP56)

Soft-key
esquerda

Soft-key
direita



Software SUPERDRIVE (WINDOWS)

- Programação, comando e monitoração
- Lê parametros do drive
- Escreve parametros no drive
- Conexão USB
- Função Trace / Scope
- Documentação da aplicação

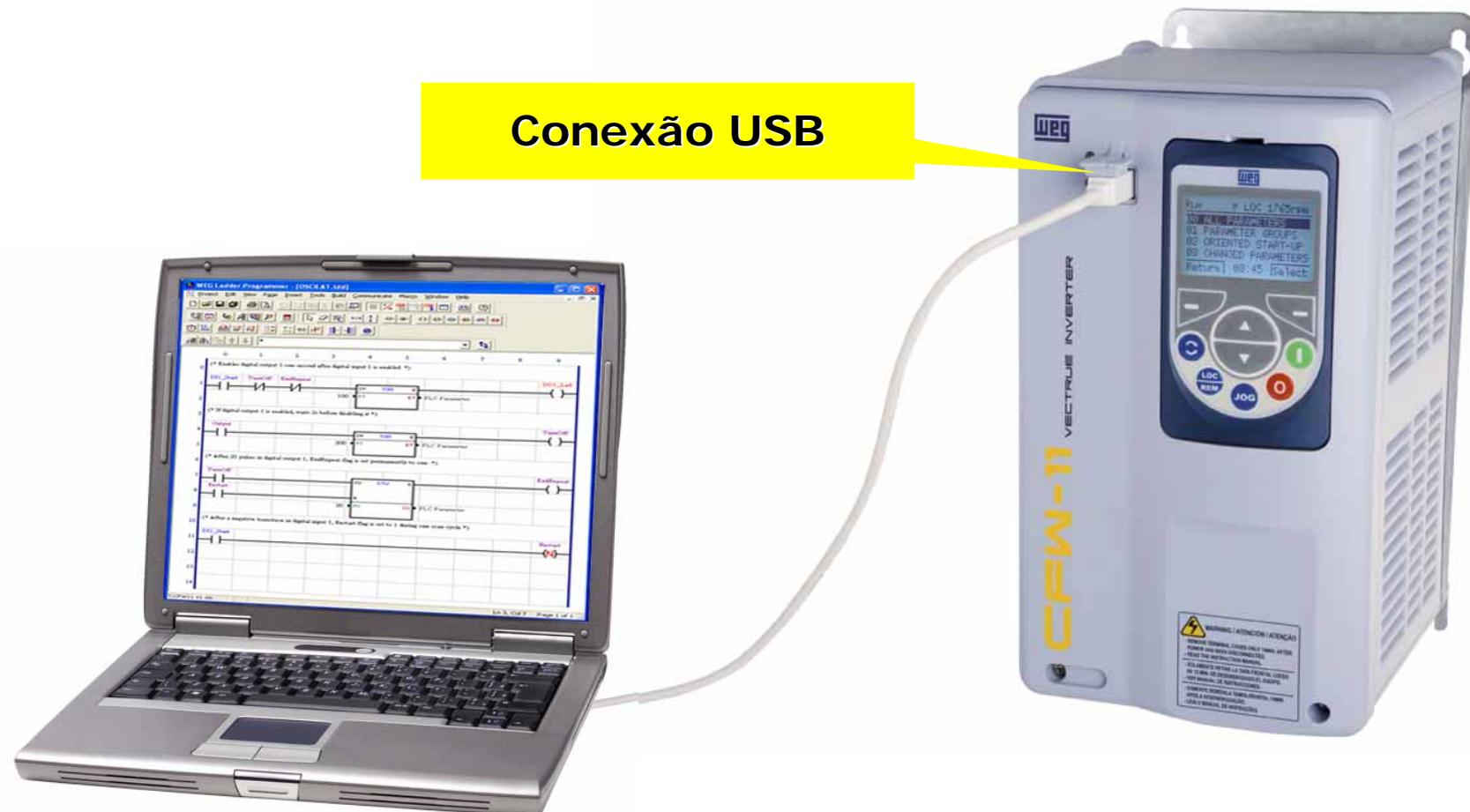
Conexão USB



SOFT-CLP – IEC 61131-3 - SOFTWARE DE PROGRAMAÇÃO

- O usuário pode criar seu próprio software de aplicação e fazer o download para o CFW-11 padrão via porta USB

Conexão USB



- Operação normal ou severa adaptando-se a qualquer tipo de carga:

Normal Duty

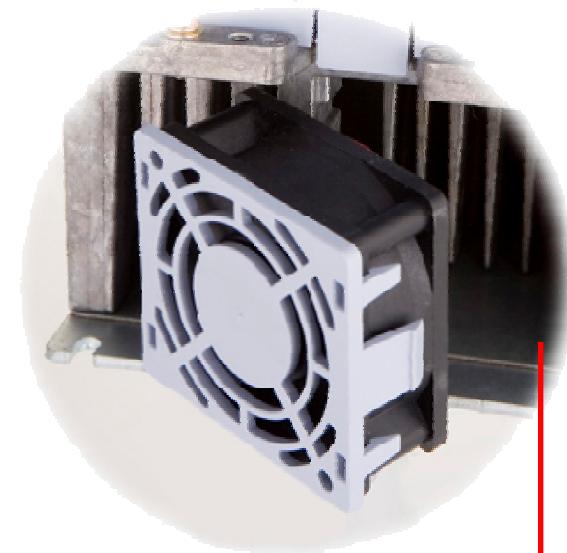
$1.1 \times I_{nominal}$ @ 60s @ 50°C

$1.5 \times I_{nominal}$ @ 3s @ 50°C

Heavy Duty

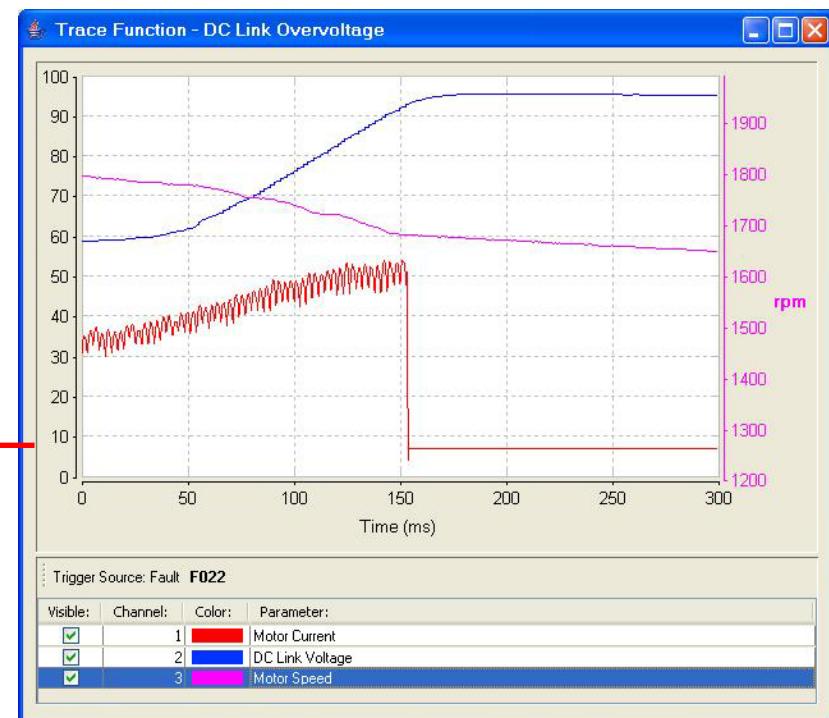
$1.5 \times I_{nominal}$ @ 60s @ 50°C

$2.0 \times I_{nominal}$ @ 3s @ 50°C



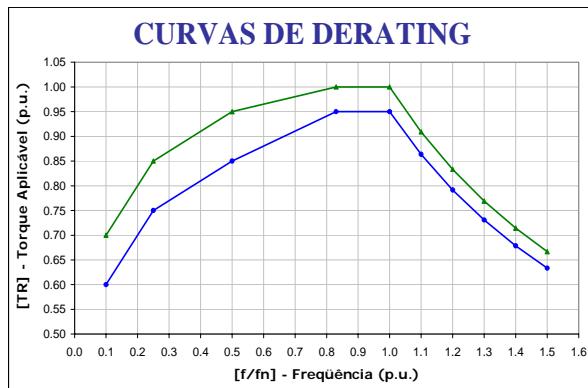
- Controle automático do ventilador do dissipador, com sensor de velocidade (proteção adicional) e facilmente destacável para limpeza e reposição
- Possibilidade de conexão em rede IT

- Alarmes permitem que o usuário entre em ação antes da máquina parar
- Os últimos 10 erros podem ser vistos com a data/hora individualmente
- O conteúdo de variáveis importantes no instante que o último erro aconteceu (como velocidade, corrente, tensão, etc...) podem ser visualizados
- Alarmes e erros são precisamente definidos para facilitar a identificação das falhas
- Função TRACE utilizando um PC



OBJETIVOS

- Minimizar as perdas totais do motor de indução trifásico
- Determinar uma curva de fluxo que minimize as perdas totais do motor em função da frequência.
- Tornar o motor apto a fornecer torque constante nas freqüências baixas de operação, evitando sobredimensionamento e/ou uso de ventilação independente



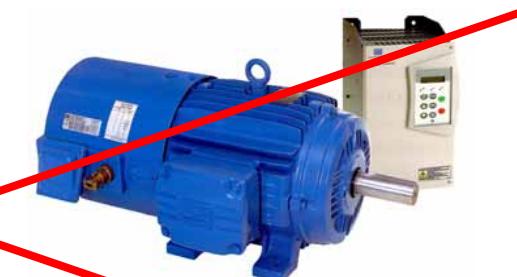
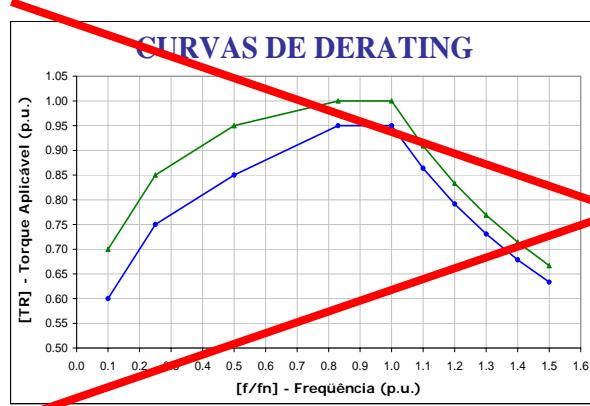
MOTOR COM VENTILAÇÃO
INDEPENDENTE



MOTOR AUTO-VENTILADO

OBJETIVOS

- Minimizar as perdas totais do motor de indução trifásico
- Determinar uma curva de fluxo que minimize as perdas totais do motor em função da frequência.
- Tornar o motor apto a fornecer torque constante nas baixas de freqüências de operação, evitando sobredimensionamento e/ou uso de ventilação independente



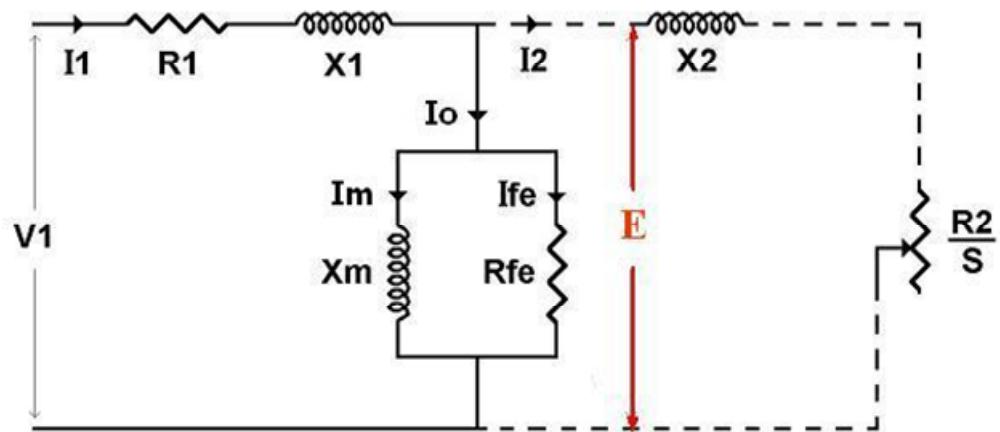
VARIAÇÃO DE VELOCIDADE DO MOTOR DE INDUÇÃO

Velocidade:

$$n = \frac{120 \cdot f_1 \cdot (1 - s)}{p}$$

Torque:

$$T = k_1 \cdot \phi_m \cdot I_2$$



$$I_1 = \sqrt{I_0^2 + I_2^2}$$

Fluxo:

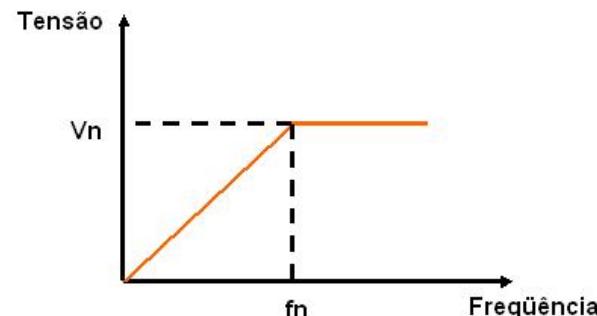
$$\phi_m \propto \frac{E}{f} \quad \Rightarrow \quad \phi_m = k_2 \cdot \frac{V_1}{f_1}$$

VARIAÇÃO DE VELOCIDADE DO MOTOR DE INDUÇÃO

Velocidade:

$$n = \frac{120 \cdot f_1 \cdot (1 - s)}{p}$$

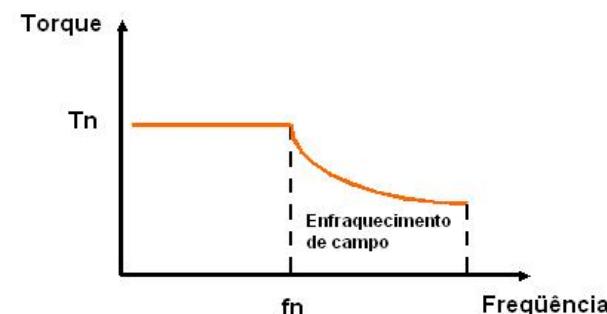
Tensão \Rightarrow



Torque:

$$T = k_1 \cdot \phi_m \cdot I_2$$

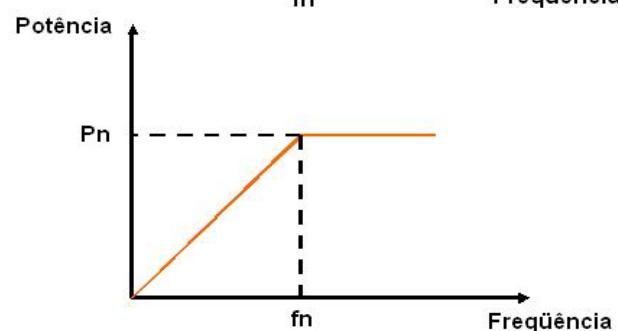
Torque \Rightarrow



Fluxo:

$$\phi_m = k_2 \cdot \frac{V_1}{f_1}$$

Potência \Rightarrow



AS PERDAS DO MOTOR:

$$p = p_i + p_{fe} + p_m$$

p_i – Perdas que dependem da corrente.

Perdas Joule no enrolamento do estator e nas barras do rotor.



$$p_i \propto I^2$$

p_{fe} – Perdas que dependem da indução magnética, freqüência e qualidade do material ferromagnético. **Perdas no ferro.**



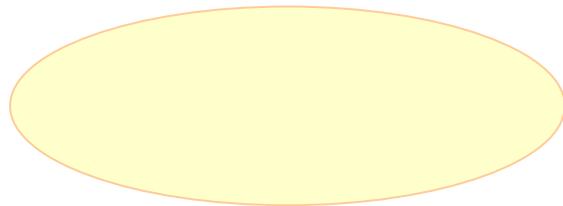
$$p_{fe} \left\{ \begin{array}{l} \propto B^x \propto \phi_m^x \propto \left(\frac{E}{f}\right)^x \\ \propto f^y \end{array} \right.$$

p_m – Perdas que dependem da rotação. **Perdas mecânicas** por atrito e ventilação.



$$p_m \propto n^3 \propto f^3$$

CÁLCULO DAS PERDAS GLOBAIS DO MOTOR DE INDUÇÃO



$$k_{i0n} = \frac{I_0}{I_n}; \quad k_{i0} = \left(\frac{E}{f} \right)^x; \quad k_m \propto f^3$$

k_T = Fator de atenuação do torque

$$p = p_{in} \left[\frac{k_T^2 k_m^2}{\left(\frac{E}{f} \right)^2} + k_{i0n}^2 \cdot k_{i0}^2 \right] + p_{Hn} \left(\frac{E}{f} \right)^4 f + p_{Fn} \left(\frac{E}{f} \right)^4 f^2$$

Perdas devido à corrente total

Perdas no ferro

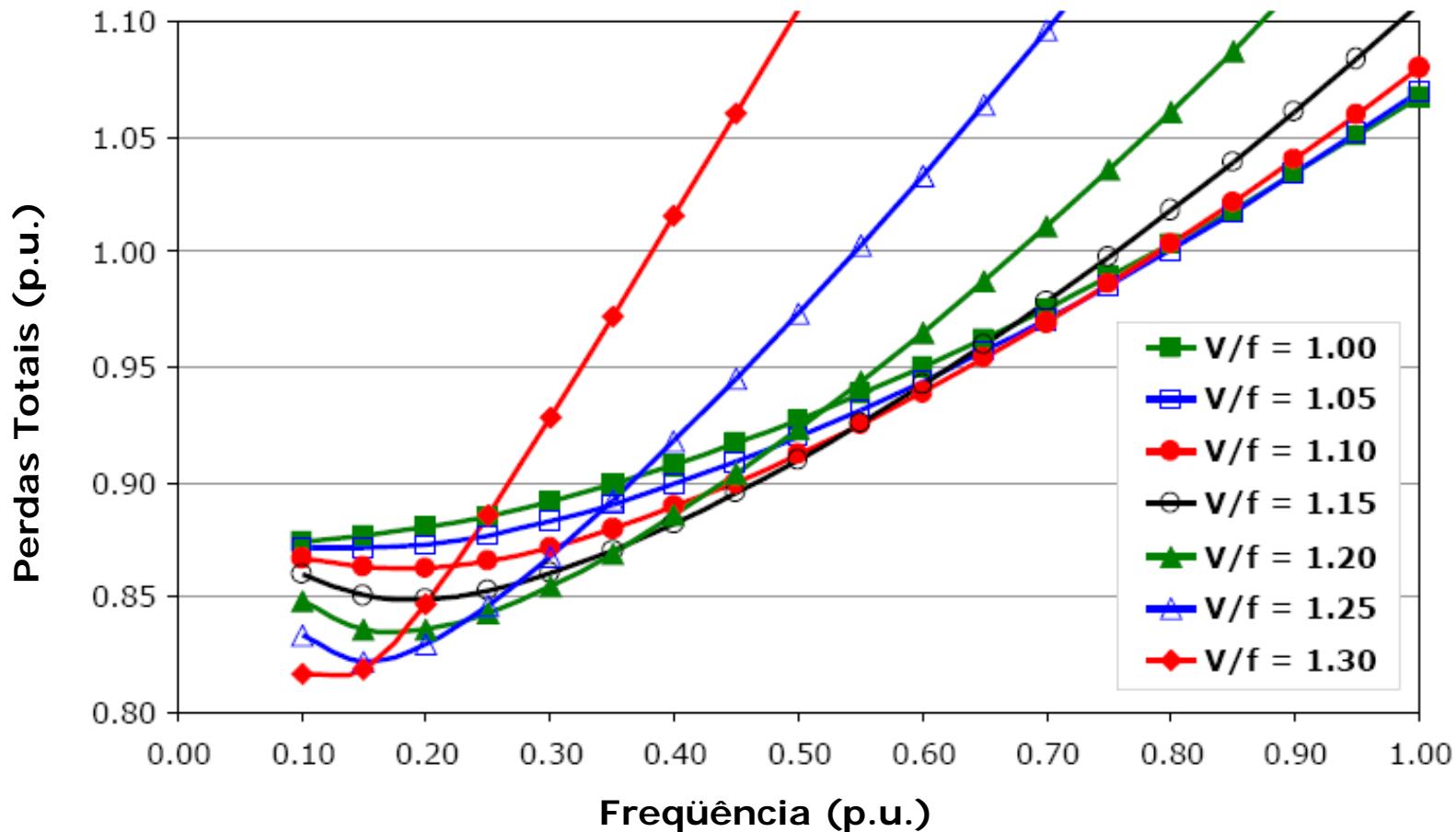
$$p = p_{in} \left[\frac{k_T^2 k_m^2}{\left(\frac{E}{f}\right)^2} + k_{i0n}^2 \cdot k_{i0}^2 \right] + p_{Hn} \left(\frac{E}{f} \right)^4 f + p_{Fn} \left(\frac{E}{f} \right)^4 f^2$$

Valores típicos para motores 4 pólos de alto rendimento

| Potência (cv) | K_{i0n} | p_{in} | p_{Fe} | p_{Hn} | p_{Fn} |
|---------------|-----------|----------|----------|----------|----------|
| 1/4 - 2 | 70% | 75% | 25% | 15% | 10% |
| 3 - 40 | 45% | 80% | 20% | 12% | 8% |
| 50 - 400 | 30% | 75% | 25% | 15% | 10% |

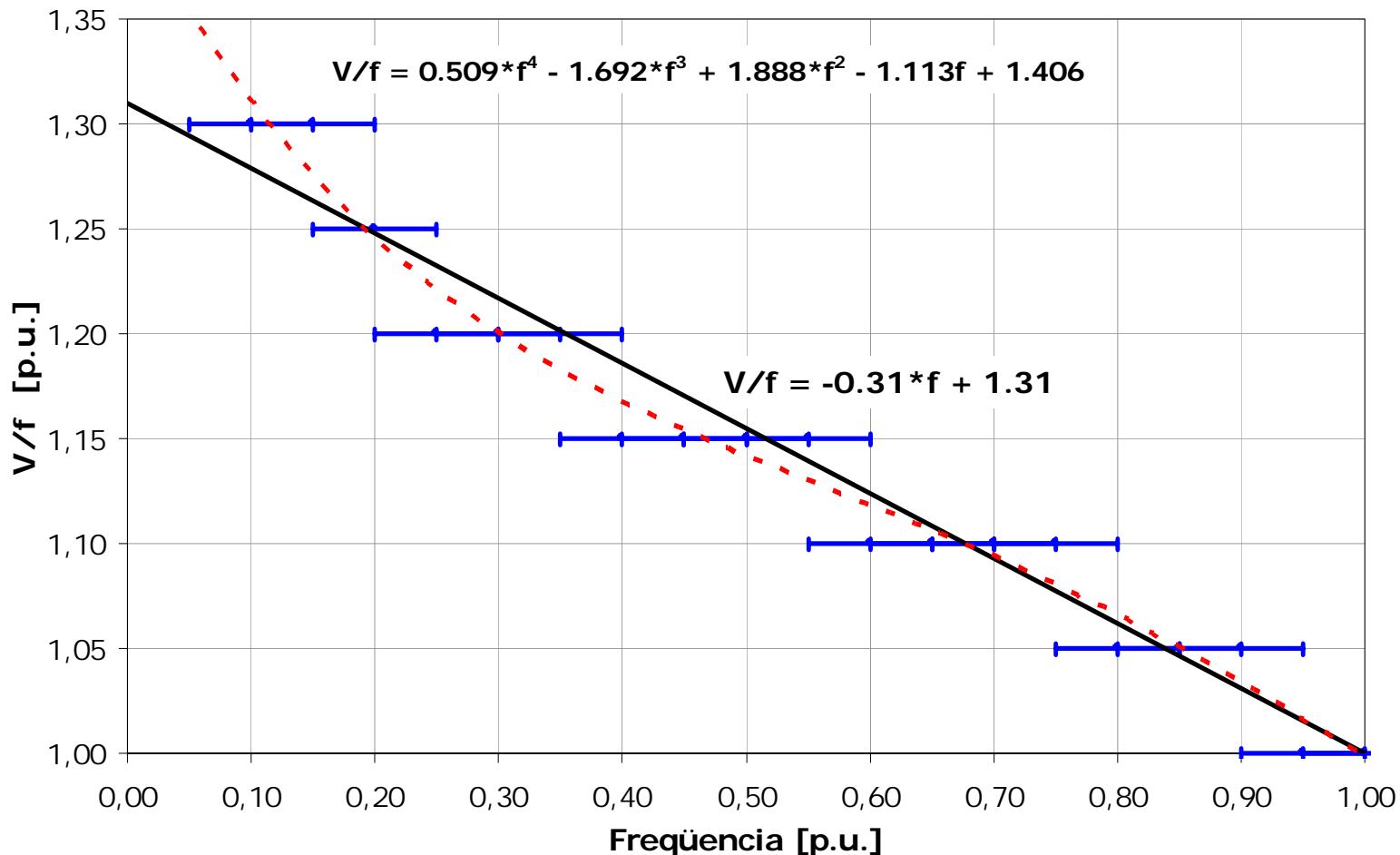
PERDAS TOTAIS X FREQÜÊNCIA

Para diferentes valores de V/f



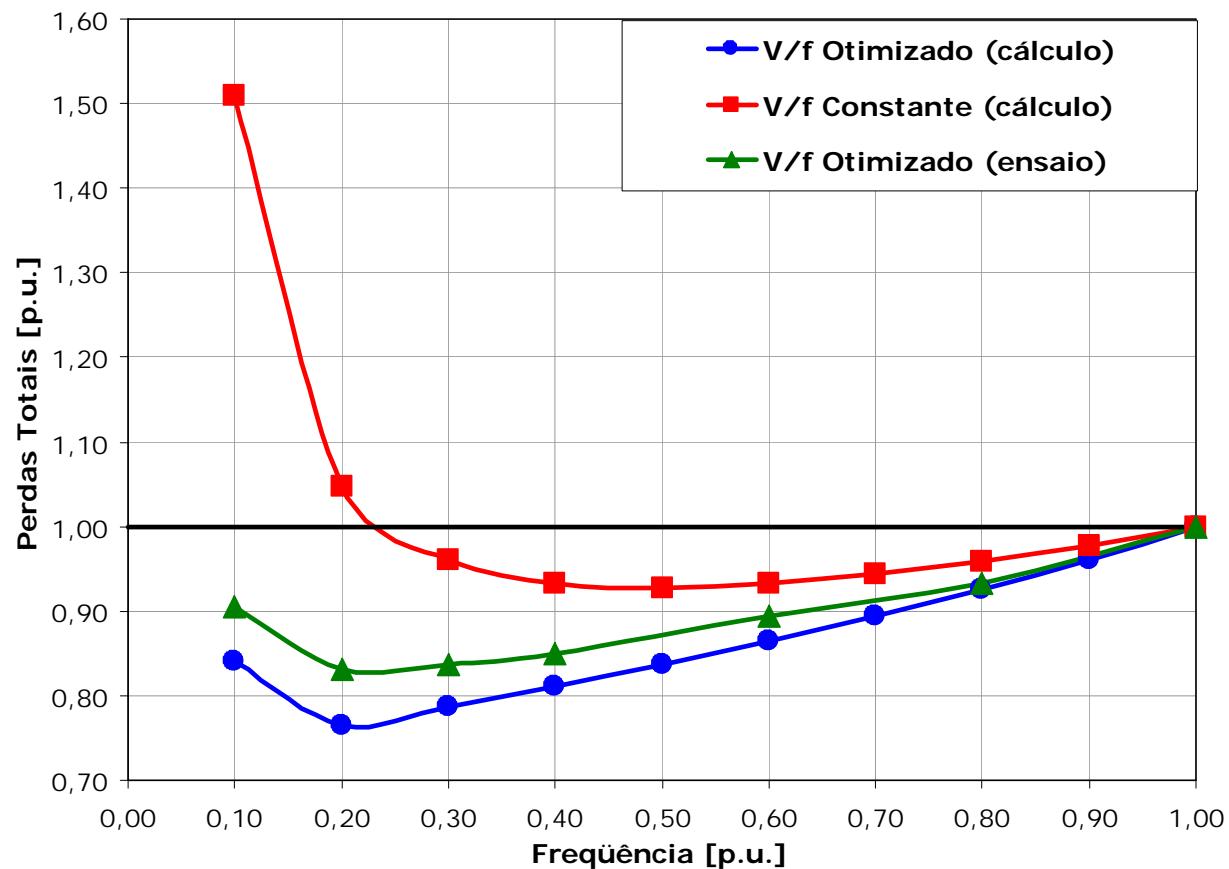
CURVA V/f X FREQÜÊNCIA

Para minimização das perdas totais



RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Motor 40 cv – 4 pólos



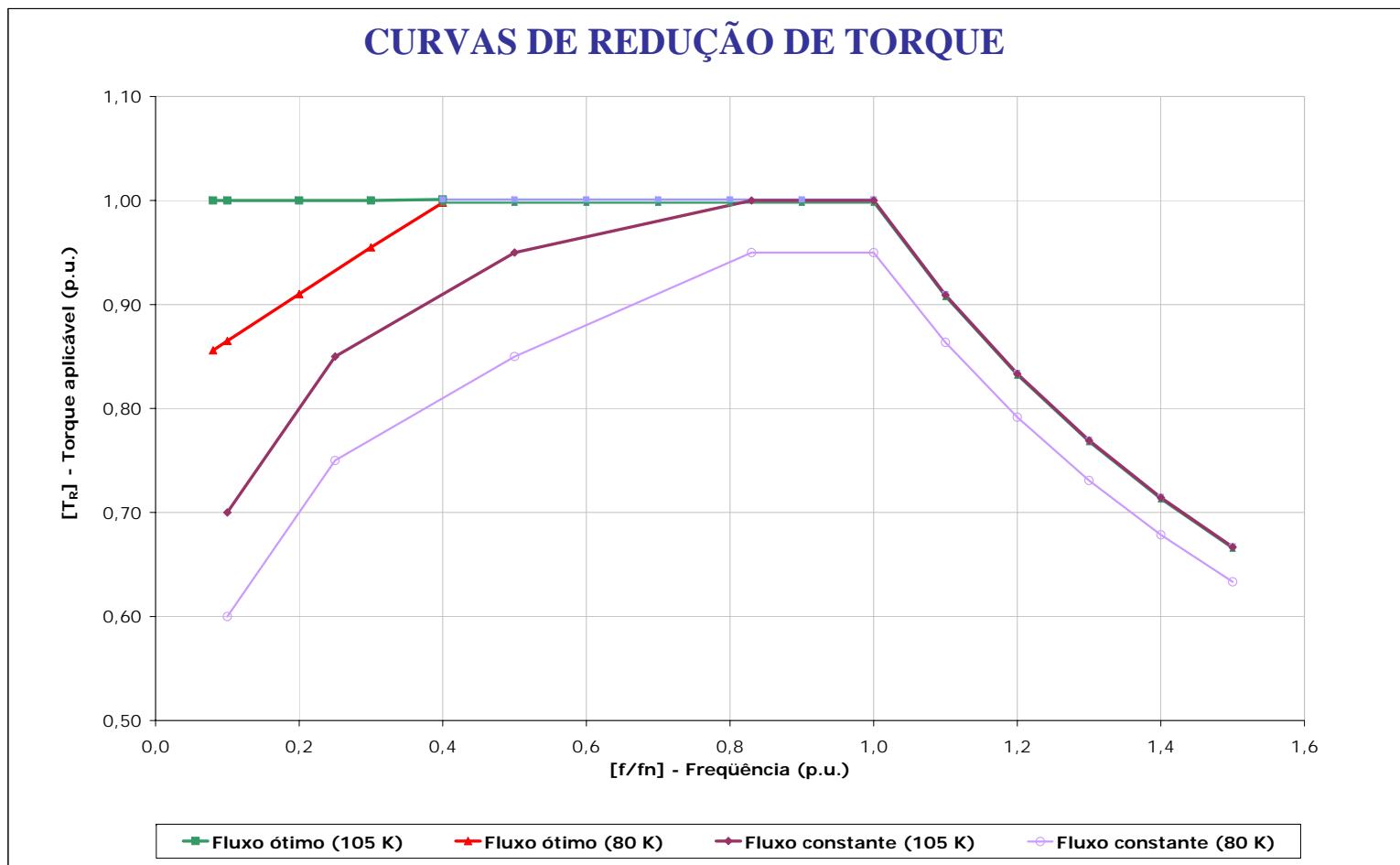
IMPLEMENTAÇÃO E VALIDAÇÃO DA CURVA DE FLUXO ÓTIMO

RESULTADOS DE ENSAIOS DE ELEVAÇÃO DE TEMPERATURA S1 (K)

Motores *Alto Rendimento* - 4 pólos

| Fonte | Freq. operação | Fluxo | 5 cv | 20 cv | 50 cv | 150 cv |
|-----------|-------------------|-----------|-------|-------|-------|--------|
| Rede | 60 Hz senoidal | constante | 50.3 | 48.1 | 53.8 | 67.7 |
| Conversor | 60 Hz | constante | 51.3 | 59.1 | 77.7 | 86.6 |
| | | ótimo | | | | |
| | 15 Hz | constante | 72.8 | 79.8 | 122.3 | 100.3 |
| | | ótimo | 72.8 | 62.4 | 79.8 | 82.6 |
| | 10 Hz | constante | 101.0 | 104.7 | 88.1 | 125.3 |
| | | ótimo | 77.8 | 67.7 | | 83.2 |
| | 5 Hz | constante | | | | |
| | | ótimo | 82.8 | 80.6 | 115.8 | 97.4 |

RESULTADO



CONCLUSÕES

- Foram determinadas relações de fluxo magnético que, em função da freqüência de operação, minimizam as perdas totais dos motores de indução alimentados por conversores estáticos de freqüência
- Os resultados de ensaios com fluxo ótimo validaram a técnica desenvolvida para minimização das perdas do motor
- A curva de fluxo ótimo foi implementada no CFW11 - produto com patente requerida - possibilitando a automatização do recurso
- Economia de energia - sobredimensionamento do motor e ventilação independente desnecessários em aplicações com cargas de torque constante em baixas freqüências

**MUITO
OBRIGADO!**

Norton Petry
npetry@weg.net